



TITLE:

回転米選機に関する実験的研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

赤瀬, 章

CITATION:

赤瀬, 章. 回転米選機に関する実験的研究. 京都大学, 1988, 農学博士

ISSUE DATE:

1988-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r6432>

RIGHT:

回転米選機に関する実験的研究

赤 瀬 章

回転米選機に関する実験的研究

赤 瀬 章

目 次

	頁
第Ⅰ章 緒 論	1
第1節 緒 言	1
第2節 従来の研究経過	2
第3節 本研究の位置付け	9
第Ⅱ章 横型回転米選機の選別因子と選別性能	10
第1節 はじめに	10
第2節 シリンダ回転数、材料供給量、シリンダ傾斜角	15
第3節 シリンダ直径、攪拌棒	37
第4節 シリンダ断面形状とスクリーン面形態	52
第5節 スリット幅、目づまり	62
第Ⅲ章 縦型回転米選機の選別因子と選別性能	72
第1節 はじめに	72
第2節 実験装置および方法	72
第3節 実験結果および考察	72
第Ⅳ章 シリンダ内の粒子の運動	91
第1節 シリンダ内の粒子の運動	91
第2節 部分分離効率曲線	108
第Ⅴ章 各種選別方式の比較と総合考察	117
第1節 横型各シリンダの選別特性比較、2段選別	117

第2節	網上産物の品質検査、スリット幅の経済性	125
第3節	縦型と横型の選別精度の比較	130
第4節	試験用選別機（ロータップシェーカとテストグレーダ） について	132
第Ⅵ章	結論	140
謝辞		146
参考文献		147

第I章 緒 論

第1節 緒言

我が国の主食である米の栽培は弥生式時代に始まった。その生産性は初めは低いものであったが、田畑の整備、品種の改良などで徐々に高くなっていった。そして、農業に機械が使われるようになって、農民は重労働から徐々に解放され、労働生産性が飛躍的に高まった。機械化はさらに、農産物に価値を付加するようになってきている。

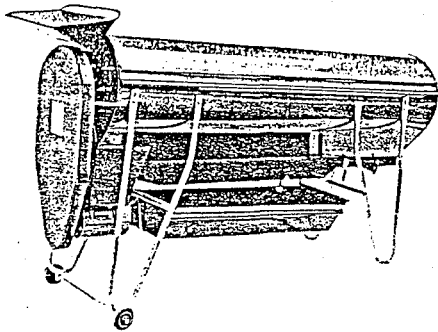
米の調製はほんの70ないし80年前は、鎌で刈り取り、千歯扱きで脱穀し、臼で粳すりし、箕で粳がらを取り除いた。しかし、現在では、コンバインで刈り取り脱穀し、粳すりプラントで精玄米にし、袋詰めされる。

米選作業は、粳すり機から出た玄米の中から、未熟で小さい粒（屑米）を取り除く作業であり、それは米の食味を良くし、とう精歩合を改良するものである。従来から、米は増産が最も重視されてきたが、近年、米は過剰となり、関心が食味に移行している。そのため、一層米選作業が重視されてきている。米選機は、長らく多数の硬鋼線を張った縦線米選器（図1-1）が用いられてきたが、近年、回転米選機（横型）（図



図1-1 縦線米選器⁶⁰⁾

(1) 単胴



(2) 複胴

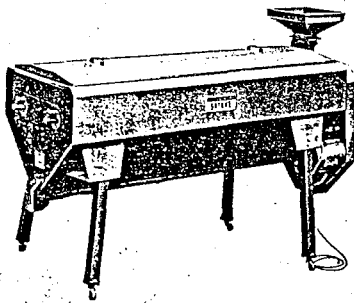


図1-2 回転米選機（横型）

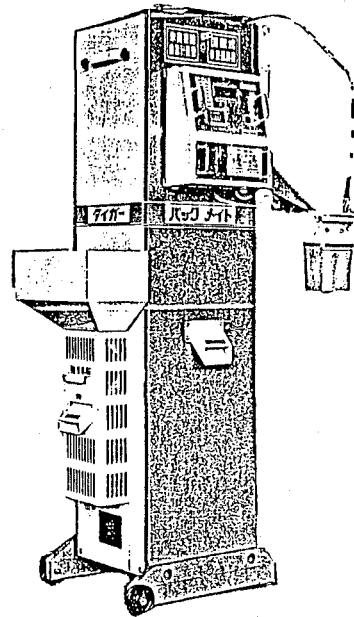


図1-3 回転米選機（縦型）

1-2）が開発され、急速に普及した。ついで、縦型回転米選機（図1-3）が出現した。現在市販されている米選機には様々な種類がある。そこで、米選機の選別性能に影響を及ぼす因子を整理し、実験によって、それらの間の関係を明確にし、米選機の設計のための基礎資料を得、適切な使用法を確立するために本研究を行った。

第2節 従来の研究経過

1. 回転米選機と関連する機械

回転米選機（横型、縦型）と選別作用、材料の運動について関連の深い機械を分類

整理すると、次のようになる。なお、機械名の右側に参考文献番号を付した。

A 網による選別

イ 平面網

——参考文献番号——

a 網固定	縦線米選器	49) 50) 59)
	万 石	
	(基礎試験)	77)
b 網振動	ロータップシェーカ	6) 7)
	粗 選 機	
	振動ふるい	15) 16) 18) 21) 69)
	揺 動 万 石	34)
	石 抜 き 機	52)
c 網面方向に移動	メッシュベルトコンベア	19)

ロ 筒形網

a 網固定		73)
b 網回転	円筒	
	横型	水平シリンダ 24) 48) 63) 66) 72) 75) 76) 85)
		テストグレーダ 6) 7) 23) 33) 55) 56)
		横型回転米選機 1) 2) 3) 58) 80-83) 90)
		(大豆、とうもろこし、茶) 61) 74) 78)
	縦型	縦型回転米選機
		縦型回転粗選機 38)
		(小麦など) 41) 64) 65)
	コーン型	コーンスレッシャ 35) 72)

B 板による選別

イ 平面

a 固定	(存在しない)
------	---------

b	振動	揺動選別	39) 84)
□	筒形		
a	固定	(存在しない)	
b	回転	インデント型	12) 20) 86)
		(ボールミル、キルン)	40) 48)
C	その他 (網でも板でもない)		
イ	長さ選別		51)
□	厚さ選別		8) 53)

2. 従来の研究の概説

以上の分類で明らかなように、回転米選機はその周辺機械と種々の係わりを有している。そこで、上の分類に従い関連文献を概説する。関連の深いものは少し詳しく記した。

(1) 平面網による選別

網が固定しているものには、縦線米選器と万石がある。三好^{49) 50)}は昭和27年に縦線米選器を取り上げ、張線上の米粒を回転楕円体として、その運動を力学的に検討している。また、庄司⁷⁷⁾は万石、縦線米選器、糠抜きふるいに関する基礎として、斜面上を流下する粒体の運動状態をつぶさに観察し、それを次のように分類している。

①単粒流動 (これは (イ) 滑り運動 (ロ) 転がり運動 (ハ) 跳躍運動に分けられる。) ②粒体流動 (これは (イ) 斉整流動 (ロ) 攪乱流動に分けられる。) 攪乱流動は粒の流下速度が大、面の傾斜角が大、面の粗度が大で生ずる、と述べている。

網が振動するものには、ロータップシェーカ (網水平、振動方向はスクリーン面と一致)、振動ふるい、揺動万石 (網は $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 傾斜、振動方向はスクリーン面と一致しなくてもよい) がある。Feller¹⁵⁾は、連続式振動スクリーン上では、振動条件が変わると選別時間が異なるので、水平シャッタで、スクリーン上に一斉に材料を

供給する方法で選別時間を一定にして、選別速度係数を出した。また、振動スクリーン上にトウモロコシ一層をならべ高速撮影し、粒の運動方程式の解と比較した。スクリーンに対する粒の相対速度が高いと、粒が穴の上をはねるので、選別が悪くなると指摘している。さらに、Feller¹⁶⁾ は、選別時間と材料の大きさ分布を組み込んだふるい分け効率の式を提示している。また、①粒子がスクリーンからはねない。②スクリーンに対する粒子の相対速度がゼロに近づく、の2点が満足されると、粒子が選別され易いと述べている。さらに、「縦軸に選別速度係数 λ 、横軸に相対サイズ Z (= 種子の大きさ/穴の大きさ)を取ると、 λ は $Z=1$ 、 $\lambda=0$ を通る曲線になる。しかも、この曲線は種子の大きさには関係なく、種子の形状、すなわち、相対長さ (= 長さ/幅) によって決まることを見出した。Fowler²¹⁾ は、振動ふるいの性能に影響する因子を整理して、材料供給量、振動数、傾斜角、目開きの影響を調べている。Schertz⁶⁹⁾ は、振動コンベア上の粒の運動を扱っている。また、上出³⁴⁾ は、揺動万石について、振動条件と万石の位置別選別の関係を調べ、試行数も算出している。そして、「籾と玄米の良好な分離選別を行うには、過度の攪乱流動は好ましくなく、玄米が穀粒層の間を通して網面へ移行するための成層作用を一定区間にわたって与えることが必要であり、よどみ流動区間のあることが望ましい。ある程度の万石網の振動は、成層作用の促進、および穀粒と網面の確率論的対比過程の増大をもたらし、選別処理能力を高めることになると考えられる。」と述べている。

(2) 筒形網による選別

筒形網には固定と回転がある。固定スクリーンでは、Srivastava⁷³⁾ は材料をオーガで移送する方法を取っている。また、初期のコーンスレッシャは、アウターコーンが固定されており、インナーコーンの回転とアウターコーンの広がりによって材料を移動させていた。

スクリーンが回転する選別機は円筒形と円錐形に分かれる。円錐形にはコーンスレッシャ³⁵⁾⁷²⁾がある。円筒形では横型と縦型に分かれ、大部分が横型である。縦型で

は Park⁶⁴⁾ の研究があり、彼は円筒型スクリーンを垂直にして回転させ、上から夾雑物のある小麦を供給し、選別した。直径 8 インチ、300rpm で運転するため、遠心加速度は 11G と高く、穀粒はスクリーン面内に圧着するため、スクリーンを軸方向に振動（振幅 7/16 インチ、1200cpm）を与え、粒を下方に移動している。薄層（ $Q=60\text{lb/min}$ で層の厚さ 0.18 インチ）を維持するため、振動を大きくして移送速度を高くしている。Park⁶⁵⁾ はさらに、シリンダ内にオーガを設けたものも研究している。1 パスで、くず、穀粒、ストロー片の 3 段階に選別するために、シリンダの前半にはスリットを、後半には大きな丸穴を設けた。DAMAS 社は縦型シリンダを用いた粗選機を開発した⁶⁵⁾。これは、内筒と外筒が自転しながら公転するという興味深い機構であり、北山³⁸⁾ がその性能試験をしている。本機は材料供給量 20t/h の能率を有し、そのシートの面積は 3.6m^2 であり、同じ能率の揺動型粗選機の 5.2m^2 より狭い。さらに、北山は、公転中心から見たシートの遠心力を算出しており、自転公転効果により、目づまりがないとしている。

横型には、本論文の回転米選機が含まれる。試験成績には富山県農試⁸⁰⁻⁸³⁾、新潟県農試⁵⁸⁾ の一連のものがある。鎌水⁹⁰⁾ は回転米選機の特性について比較的早い時期（1974 年）に発表しており、米選作業上の留意点として「供給速度は 20kg/min 以下で選別すべきで、シリンダ傾斜角を大にすると、同じ選別を得るには供給速度は小にすべきである。」としている。さらに、米選機に籾取り装置の開発が望まれるとしており、その後開発された。ただし、供給量を $10\sim 40\text{kg/min}$ に変えているが、1 回の試験に供した材料量は 5kg と少ないために、条件によっては、まったく設定供給量に達していないか、達しても定常状態での時間が極めて短い、という問題を残している。安達¹⁾ は 4 機種 of 回転米選機を供試し、3 因子（スリット幅、供給量、小粒含有率）をそれぞれ 3 水準設定し、実験計画を用いて分析しており、実用的な試験をしている。さらに、粒厚と米の等級の関係について「1 等米生産のためには、粒厚 1.90mm 未満の粒を 4~5 % 以下に、 1.80mm 未満の粒では 0.5~0.8 % 以下に選別すべきである。」

と述べている。中川⁵⁷⁾ は、通常の選別作業では、穀粒はシリンダ内を層状をなして運動しているので、解析は困難であるとして、シリンダ内の単粒子の運動を理論的に考察している。すなわち、シリンダ内に単粒が供給されたとして、その運動方程式から解を求め、実用されている米選機内に少量の玄米を入れ、運動状態を観察し、両者の比較を行っている。これは供給量が小さい時に利用でき、米選機の基礎として高く評価される。シリンダ長さ1.30m、傾斜角 5° とすると、圧着回転数は滑りがない時 80rpm、滑り速度が0.5m/sとした時114rpm、シリンダ内通過時間は、粒が飛行しない時15.2秒、飛行する時21.2秒としている。

横型は、米選機以外では石炭、砂利、工業製品など多方面に使用されており、農産物では大豆⁶¹⁾、とうもろこし⁷⁴⁾、茶⁷⁸⁾ の例がある。以上は、シリンダが水平に対していくらか傾斜している場合であるが、その基礎試験として、水平シリンダの特性を調べている。すなわち、大山⁶³⁾ は水平回転円筒内の粒体の運動について、基礎的な研究をしている。内面を良く仕上げた内径 200mmの鋳鉄製円筒（片面はガラス板）内に乾燥した同径粒体（石灰石）を挿入し、材料量、回転数（23～120rpm）を変えて断面内の材料の運動状態を写真撮影、高速度撮影している。また、材料は円壁により引き上げられ、その後、粒体面上を滑りおりるが、その時不動点が生ずることを確認し、それが回転数によっていかに変化するかを調べた。100rpmになると、粒子の運動状態は著しく不安定になり、上昇点の高さが上下し粒子の飛路が変化する、と述べている。さらに、上昇点を離れた粒子は、一般に考えられているように上昇をはじめた点には落下しないので、粒体は渦巻きをなして漸次混合されていく、と述べている。Vahl⁸⁵⁾ は、水平回転円筒内の材料の滞留時間について、理論的に検討している。シリンダの傾斜角が 0° であっても、入口と出口で材料の層厚が異なり高低差によって移送が生じるとしている。対象にしているのはカスケードを有する比較的低回転領域であり、シリンダの所要動力も出している。杉本⁷⁶⁾ は、Vahl と同じく水平回転円筒内の粒子滞留時間を検討し、その分布を出している。水平面に対するシリンダ軸の

傾斜角 α とカスケードの角 β から、粒子のカスケード面上の（シリンダ横断面に対する）流下角 δ は、 $\tan \delta = \sin \alpha / \sin \beta$ で表わせるとしている。Srivastava⁷²⁾は、遠心セパレータ内の材料の運動を扱った。これは内に高回転のオーガを有するものである。水平シリンダを使った機械にテストグレーダがある。後藤²³⁾は、形状選別の研究の一部として、シクネスグレーダ（テストグレーダ）を取り扱っている。実験はスリット幅（1.6～2.0mm）と粒厚（1.7～2.0mm）を組み合わせを行い、選別定数K、Gの検討を行っている。この実験の特徴は、①スリット幅より小さい粒のみを供試していること。②小粒として精白米を使用していること、である。結論として、テストグレーダの使用条件を、シリンダ回転数 67rpm、供試量 100g、選別時間 10 秒としている。

(3) 板による選別、その他の選別

スリットを有しない板による選別には、揺動選別とインデント型選別がある。ボールミル、キルンは選別ではないが、中の材料の運動から筒形板の回転に一応分類した。そのほかの選別としては、長さ選別と厚さ選別がある。

(4) 偏析

粒子の径、密度が異なる粒体に外力を与えると、充填が進行する一方で、大径で密度の小さい粒子が浮上し分離が生ずる。この現象が偏析である。佐納⁶⁷⁾は、スチールボール、ガラス球を使って、粒径と大小粒子の混合比の偏析への影響をみている。粒径比は 0.4以下で確実に分離するが、0.5 以上では分離しないとしている。さらに、佐納⁶⁸⁾は分離速度を定量化した。林²⁵⁾は、小粒のくぐり抜けが偏析の原因であると述べている。池田²⁸⁾は、上記のものがタッピングを与えているのに対して、振動を与え偏析の関係を見ており、ほぼ同じ傾向だとしている。又木⁴²⁾は、遠心効果と偏析の関係を調べ、遠心効果が大きくても振幅、振動数の一方が小さいと偏析は生じない、と述べている。岩尾³¹⁾は、ロータップシェーカを用いて流動層の粒子通過時間を調べた。粒径、比重、粗滑程度を変えるために、穀粒から鋼球まで種々の材料を

用いており、通過速度は粒径比によって最も大きく左右される、と述べている。

第3節 本研究の位置付け

初期の米選機は、前述のように縦線米選器であった。これは使用者が線と線の間隔を調節しなければならず、また横方向に傾斜すると材料が偏り選別が一樣にならないというように、使用には熟練を必要とした。さらに、これが後の回転米選機と最も異なるのは、使用者が線間隔を調節するため、上玄米の選別が一樣でないことである。一方、回転米選機はあるスリット幅のシリンダを使用すれば、だれが使ってもほぼ同じ製品が得られ、個人差が少ない。この点で回転米選機が広く普及した。すなわち、今日の米選作業はシリンダを供給するメーカーと、それを使用する農家によってなされている。したがって、米選機メーカーは、①選別精度、能率の良い米選機を作る。②使い易い米選機を作る。農家（使用者）は、①よい米選機を選択する。②適切なスリット幅のシリンダを選択する。③米選機を適正な使用条件で使用する、ことが必要である。

そこで次の目的で本研究を行った。

- ① 選別精度、能率のよい米選機を作るための基礎資料を準備する。そのために米選機内の材料の運動、選別理論を明らかにする。
- ② 米選機の種類やスリット幅を選択する基礎資料を準備する。
- ③ 米選機の適正な使用方法は何かを検討する。

以上の目的遂行のために、多量の材料を使用し、できるだけ多くの実験を、色々な角度から試みた。

第Ⅱ章 横型回転米選機の選別因子と選別性能

第1節 はじめに

1. ふるい分け効率^{4,6)}

色々な粒径を有する粒の集団を、ある寸法以上のものと以下のものに分ける操作が選別である。選別は色々な方法でなされるが、穴のある面（網、スクリーン）で行う時、その操作をふるい分けという。ふるい分けの基準となる寸法を分離寸法 Φ 、 Φ 以上のものを網上成分、 Φ 以下のものを網下成分と呼ぶ（図2-1）。

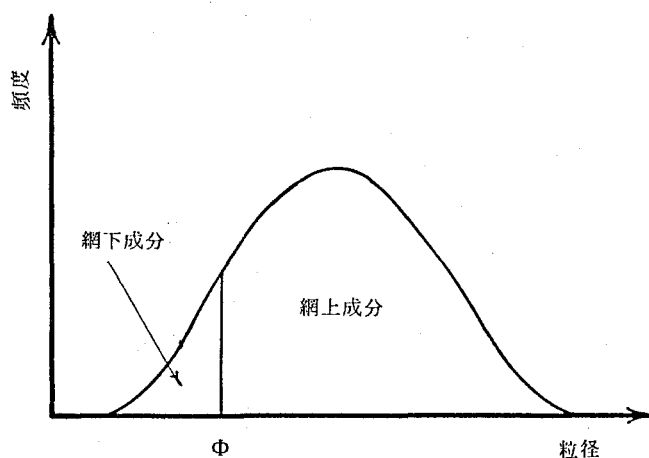


図2-1 網上成分、網下成分、分離寸法（ Φ ）

理想的なふるい分けは、網上成分をすべて網上に留め、網下成分をすべて網下にするものでなければならない。実際のふるい分けの達成率を、この理想的なふるい分けに対して数値的に示すのがふるい分け効率である。いま、スクリーンに供給材料（F）を供給し、ふるい分けの結果、スクリーン上に網上産物（O）、スクリーン下に網下産物（U）を得たとする（図2-2）。

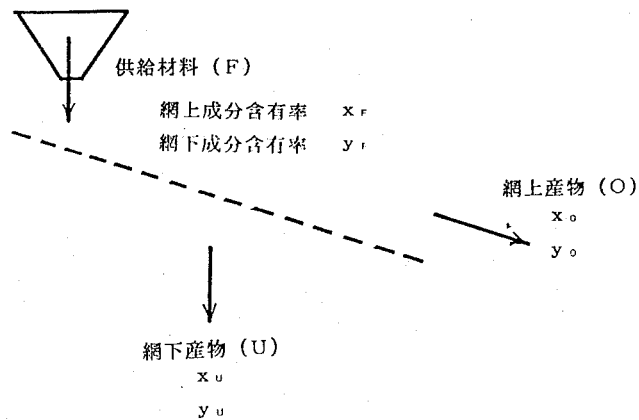


図 2-2 ふるい分けの模式図

F : 供給材料の質量

O : ふるい分けによって得られた網上産物の質量

U : " 網下産物 "

x_F : F 中の網上成分含有率

x_O : O "

x_U : U "

y_F : F 中の網下成分含有率

y_O : O "

y_U : U "

$$\text{したがって、} x_F + y_F = 1 \quad (2-1)$$

$$x_O + y_O = 1 \quad (2-2)$$

$$x_U + y_U = 1 \quad (2-3)$$

また物質収支から、

$$F = O + U \quad (2-4)$$

$$x_F \cdot F = x_O \cdot O + x_U \cdot U \quad (2-5)$$

$$y_F \cdot F = y_O \cdot O + y_U \cdot U \quad (2-6)$$

以上からふるい分け効率として次の i) ~vi) が考えられる。

$$\text{i) 網上成分回収率 } \gamma_o = \frac{x_o \cdot O}{x_F \cdot F} \quad (2-7)$$

$$\text{ii) 網下成分回収率 } \gamma_u = \frac{y_u \cdot U}{y_F \cdot F} \quad (2-8)$$

$$\text{iii) 網上産物中網上成分含有率 (製品中目的成分含有率³⁶⁾) } \quad x_o$$

$$\text{iv) 網上産物中網下成分含有率 } \quad y_o$$

理想的な選別は $\gamma_o = 1$ かつ $\gamma_u = 1$ である。しかし一般的には製品の品質を高めようとすると (これは y_o を小さくすることである)、網上成分が損失になる (すなわち γ_o が小さくなる) し、 γ_o を大きくすると y_o が大きくなるという相反する傾向がある。そこでこれらを総合した効率として次のものが用いられる。

$$\text{v) } \eta = \gamma_o \cdot \gamma_u \quad (19) \quad (21) \quad (74) \quad (2-9)$$

$$\text{vi) ニュートン効率 } \eta_N = \gamma_o + \gamma_u - 1 \quad (2-10)$$

2. ふるい機およびふるい分け効果の判定

上記のような、ふるい分けを連続的に行う各種のふるい機は、次の各部から成り立っている。今泉³⁰⁾ は、工業用ふるい機を次に示す (1) (2) (3) (5) の4部分に分けているが、筆者は (4) を加えた。

- ふるい機の構成
- (1) ふるい面
 - (2) 材料供給装置
 - (3) 材料移動装置
 - (4) 目づまり防止装置
 - (5) 排出装置 (網上産物、網下産物)

ふるい分けの成績ないし効果の判定は、次の3条件³⁰⁾ について考慮される。

- (1) ふるい分け能率

(2) ふるい分け効率、ふるい分け精度

(3) 操業費

最も大切なのは (2) のふるい分け効率であり、前述した。(1) の能率は、満足できるふるい分け効率での最大供給量で表わされる。(3) の操業費は労力、動力、保守に対する必要度であり、本論文では動力のみを取り上げた。

3. 厚さ選別の有効性

玄米から未熟で小さい粒(屑米)を取り除くのが、米選作業である。玄米は図 2-3 に示されるように3軸寸法(長さ、幅、厚さ)を有する。したがって、粒の大きさによる選別(粒大選別)は長さ選別、幅選別、厚さ選別、等体積(相当径)選別の4種に分けられる⁸⁷⁾。そして、これらはそれぞれインデント型選別機、丸穴の打抜板、長穴の打抜板、揺動選別機でなされる。

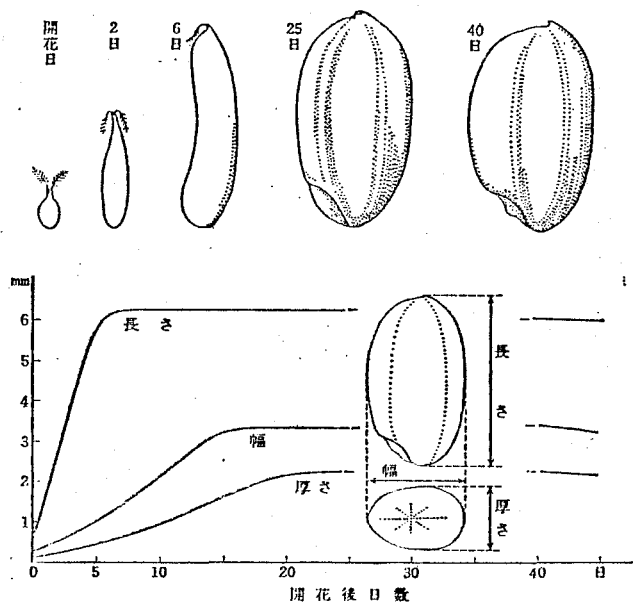


図 2-3 玄米の外形の発達²⁸⁾
普通栽培による水稻品種よねしろ

図 2-3は開花後日数と玄米の3軸寸法の関係を示している。6日目頃には長さがすでに完熟米と同程度になり、15日目頃には幅が、20日過ぎに厚さがほぼ完成している。また表 2-1は玄米の3軸寸法と比重の相関を示したものであり²³⁾、比重は厚さとの相関が最も高い。

米の食味は玄米の充実度（すなわち比重）で左右されると思われるので、図 2-3、表 2-1から、厚さ選別、すなわち、幅一定の長穴（スリット）を有するスクリーンによる選別が最も有効であるといえる。本研究では、横型、縦型米選機ともにスリットを有するスクリーンを使用している。

表 2-1 玄米の3軸寸法と比重の相関²³⁾

長 さ	幅	厚 さ
0.093*	0.379**	0.784**

* 有意水準 95%

** " 99%

4. 回転米選機の選別性能に影響する因子

現在市販されている回転米選機には、シリンダ軸が水平に対してわずかに傾斜しているもの、鉛直のもの、シリンダ断面形状が、円形または 8角形のもの、攪拌棒のあるものとなないもの、また、選別網（スクリーン）に凹凸のあるものとなないものなどがあり、様々である。これらはすべて米選機の性能に大きく影響を及ぼす因子であり、また、相互にかかわりを持っているものと考えられる。そこで、米選機の選別性能（選別精度と選別能率）に影響する因子を、3つに分類し、整理すると次のようになる²¹⁾⁸⁷⁾。

(1) シリンダの幾何学的因子

シリンダの軸方向（横型、縦型）

シリンダの断面形状、直径、スクリーンの長さ

攪拌棒の有無、本数、直径、位置

スクリーンの面形態

スリットの形状、大きさ、向き、空間率⁴³⁾

(2) シリンダの運転に関する因子

シリンダの傾斜角、回転数

材料の供給量

選別時間

目づまり防止板の有無

(3) 供給材料に関する因子¹⁶⁾

作物、品種

粒子形状

比重、かさ密度

水分

表面滑度（摩擦係数）

小粒の含有率、near size（スリット幅の 0.9～1.05 倍の厚さの小粒）含有率²¹⁾

（注 Fowler²¹⁾ は、各種産業用ふるいに対する near size をスリット幅の 0.7～1.5 倍にしている。しかし、米選機では大粒と選別すべき小粒の厚さの差が小さいので、上記の値が望ましいと思われる。）

第2節 シリンダ回転数、材料供給量、シリンダ傾斜角

本節では、横型回転米選機の選別性能に影響を及ぼす因子のうちで最も基本的な因子である、シリンダ回転数、材料供給量、シリンダ傾斜角を取り上げ、それらの影響を明らかにする。

1. 実験装置および方法

(1) 連続式選別装置

現在市販されている農家用米選機の典型的な1機種（Y社製）を、図1-2(1)に示した。この米選機のシリンダは单相 200Wのモータによって駆動され、シリンダの傾斜角は前後の足の長さで若干調節できる。本節および次節では、各因子の影響を調べるため、上記の米選機の一部を改造し、図2-4 に示す装置で実験を行った。これは玄米を連続して選別するため、連続式選別装置と呼ぶ。選別部はシリンダ④であり、これはスリットを有する円筒で、水平に対してわずかに傾斜しており、①の無段変速モータで駆動される。材料はホッパ②によりシリンダ前部に供給され、後方へと移動する。その過程でスリット幅より小さい粒は選別され、受け箱⑤に落下する。これが網下産物である。選別されなかった粒はシリンダ後部から排出され、シュート⑥を通り、容器⑦に回収される。これが網上産物である。シリンダ傾斜角は調整板⑨で、材料供給量はホッパのシャッタ③の開度で調節した。なお本実験では網下産物と同時にスクリーンの目づまり量も測定しているため、本装置では目づまり防止板を取り付けていない。

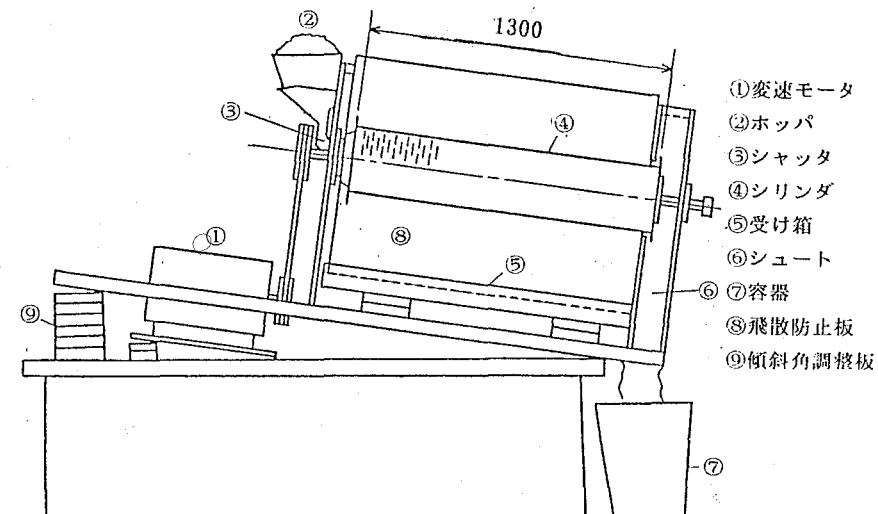


図2-4 連続式選別装置

(2) 供試シリンダとそのスクリーン、攪拌棒

供試シリンダの形状および寸法を図2-5、図2-6に示す。シリンダは、長穴状のスリット（スリット幅 1.80mm）を打ち抜いた厚さ 1mm の軟鋼板でできた円筒である。直径は $\phi 280$ で、シリンダ全長 1360mm、有効長 1300mm、スクリーン（スリットを有する部分）長 1250mm である。シリンダの内部には材料を攪拌する棒（攪拌棒）が取り付けられている。スリットの形状およびその配置、スクリーン断面を図2-7に示す。空間率⁴⁶⁾（スクリーン面積に対するスリット面積の割合）は 36.9% である。攪拌棒の条件は図2-8に示すように本数 n 、直径 d 、位置（攪拌棒の中心とスクリーンの距離） δ で表わし、本節の実験では $n = 3$ 、 $d = 14\text{mm}$ 、 $\delta = 15\text{mm}$ である。



図 2-5 供試シリンダ

(左はシリンダ前部から、右は後部から見たもの)

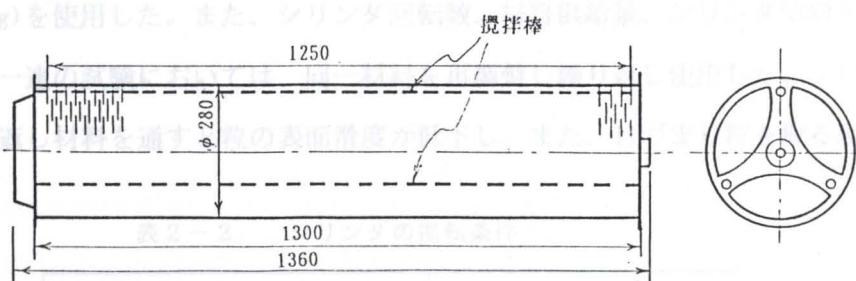


図 2-6 供試シリンダ

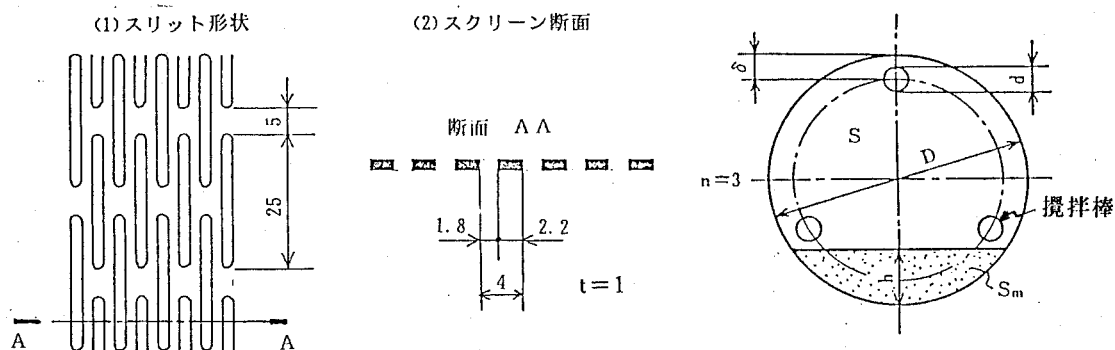


図 2-7 スクリーン

図 2-8 シリンダ断面、攪拌棒

(3) 連続式選別装置による実験方法

シリンダの運転条件を表2-2 に示す。実験の手順は次の通りである。①粉すり機の1 番口から出た玄米30kgを供給し、供給時間から材料供給量を算出する。②運転後網下産物の質量を測定する。目づまり粒はシリンダの回転数を約30rpm に落とし、板をスクリーンの表面に軽く押しあてて回収し、その質量を測定する。③網上産物、網下産物、目づまり粒を十分攪拌混合し、次の試験の供給材料（フィード）として試験を繰り返す。

連続式選別実験においては、材料の供給開始直後および供給終了後にシリンダ上の材料の滞留深が小さいので、定常状態の時間を長くするため1 回の実験に比較的大量の材料(30kg)を使用した。また、シリンダ回転数、材料供給量、シリンダ傾斜角の影響を調べる一連の試験においては、同一材料を再調整し繰り返し使用した。シリンダの中を繰り返し材料を通すと粒の表面滑度が低下し、また、目づまり粒を取る段階で

表 2-2 シリンダの運転条件

シリンダ傾斜角 θ (deg)	4.7
シリンダ回転数 N (rpm)	28, 42, 56, 70, 84, 98
材料供給量 Q (kg/min)	21.7, 13.3, 7.7, 3.5

若干碎米が増えることなどが考えられるため、一連のテストでは実験順序をランダムに行った。

(4) ふり分け効率 u について

網下成分回収率 y_u は、前節で示したように $(y_u \cdot U) / (y_F \cdot F)$ で表わされる。しかし、一般に網下産物中の網上成分含有率 x_u は小さいので、便法として y_u 中の y_u を 1 とみなした u でもって選別の指標とした。

$$\text{ふるい分け効率 } u = \frac{U}{y_F \cdot F} \quad (2-11)$$

y_F は供給材料から 50g 5 点をサンプリングし、ロータップシェーカ (第 V 章) と標準ふるいで粒径分析し求めた。

(5) 回分式選別装置と実験方法

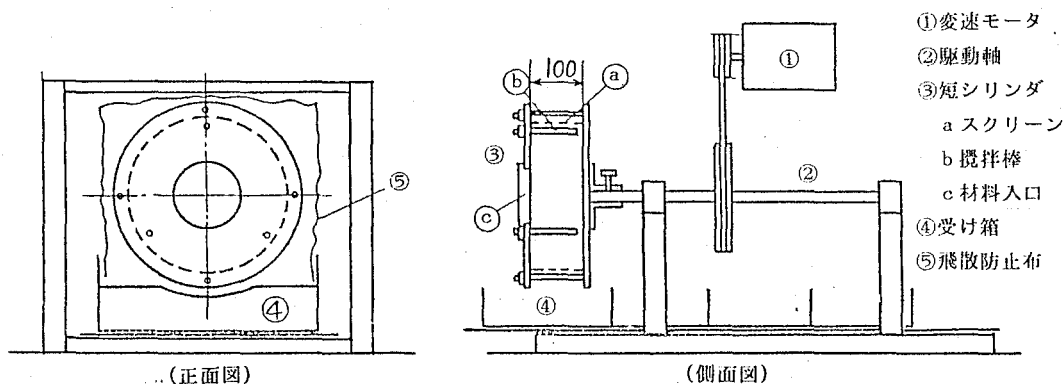


図 2-9 回分式選別装置

シリンダの選別特性を知る基礎試験をするために、回分式選別を行った。すなわち、連続式選別装置のシリンダのスクリーンを長さ 10cm に切断し、それを水平にセットして、回分式選別装置 (図 2-9) を製作した。これによって、選別の難易および網下産物の経時変化を調べた。短シリンダ③は変速モータ①により駆動される。調整した供給材料を⑥から入れ、短シリンダ③を回転し、5、10、20、30 秒後に 4 つに仕切られ

た受け箱④を移動させて網下産物を回収する。網上産物、目づまり量は、③を駆動軸②から取りはずして回収する。⑤は飛散防止布である。

2. 実験結果および考察

(1) 連続式選別装置による試験

a 選別に及ぼすシリンダ回転数、材料供給量の影響

シリンダ回転数、材料供給量が選別精度に及ぼす影響を調べるために、シリンダ回転数 N (rpm)、供給量 Q (kg/min) をそれぞれ4段階に変化させ、網下産物質量を測定した。攪拌棒の効果を明らかにするために、攪拌棒を取りはずした状態の試験をあわせて行った (図 2-10)。表 2-3 に分散分析の結果を示す。攪拌棒の有無にかかわら

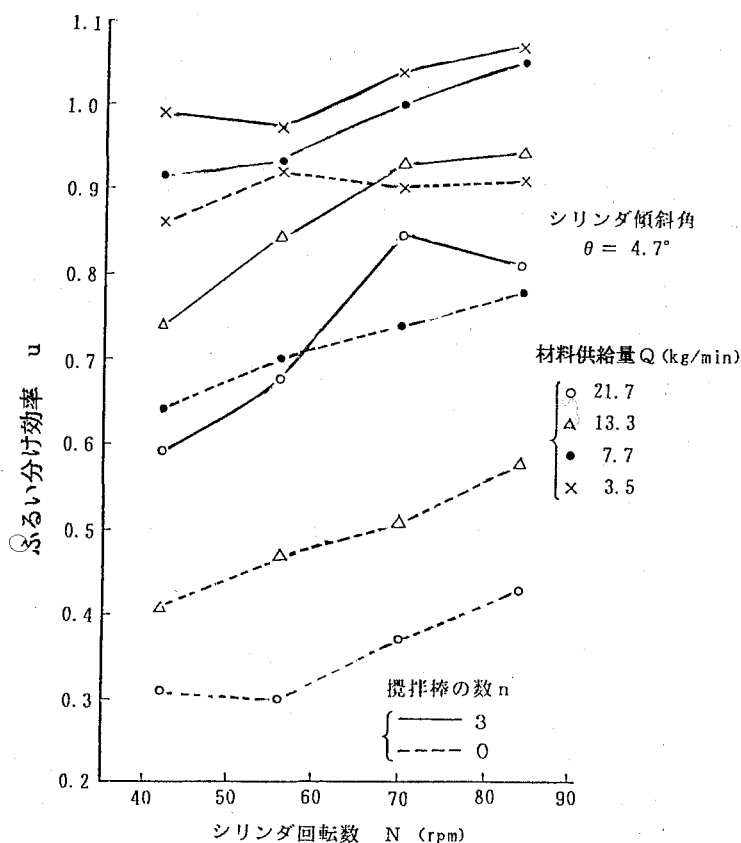


図2-10 材料供給量とシリンダ回転数が選別速度係数に及ぼす影響

表 2-3 ふるい分け効率 u の分散分析

	撈拌棒の 本 数	要 因	分 散 比
u	3	A	14.3 **
		B	41.7 **
	0	A	11.6 **
		B	260.4 **

* A : シリンダ回転数

B : 材料供給量

ず、シリンダ回転数と材料供給量の変化による効果が大きい。各因子についてみると材料供給量が高くなると選別は悪くなる。また撈拌棒なしに比べ、3 本の場合の選別は極めて良くなる。実験の範囲では、シリンダの回転数が高いほど、選別は良くなる傾向が見られる。しかし、回転数が限度を越えると、後述のように、遠心力のために材料はスクリーンにすべて圧着し、選別は全く行われなくなる。なお、ふるい分け効率 u が 1 以上になる場合もみられるが、これは、供給材料中の網下成分含有率 y_F を算出する際に、ロータップシェーカを使用しており、その選別は回転による選別より幾分低いことによるものと思われる。

b 選別に及ぼすシリンダ傾斜角の影響

シリンダの傾斜角を変えた場合のふるい分け効率 u の変化を図 2-11 に示す。撈拌棒 0、3 本、材料供給量 21.7、13.3 kg/min のいずれの場合も、シリンダ傾斜角が大きくなると u は減少する傾向がみられる。しかし、その減少割合は小さい。

c シリンダの選別位置による網下産物の粒径

網下産物受け箱にスクリーン長 (1250mm) の 1/5 ずつに仕切りを設け、各ブロックごとに網下産物を回収し、質量を測定し、さらに、ロータップシェーカとふるいで粒径分布を調べた。N=70rpm、Q=7.7kg/min、 $\theta=4.7^\circ$ 、n=3 における結果を図 2-12 に示す。図中のサイズフラクションとは粒厚で区分された各部分のものをいう。

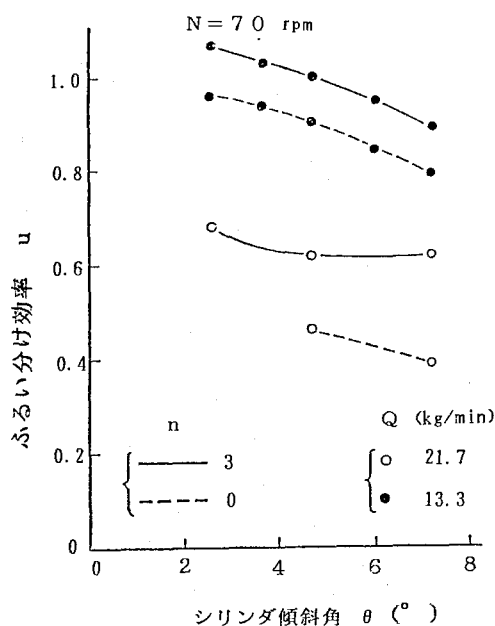


図2-11 シリンダ傾斜角がふるい分け効率 u に及ぼす影響

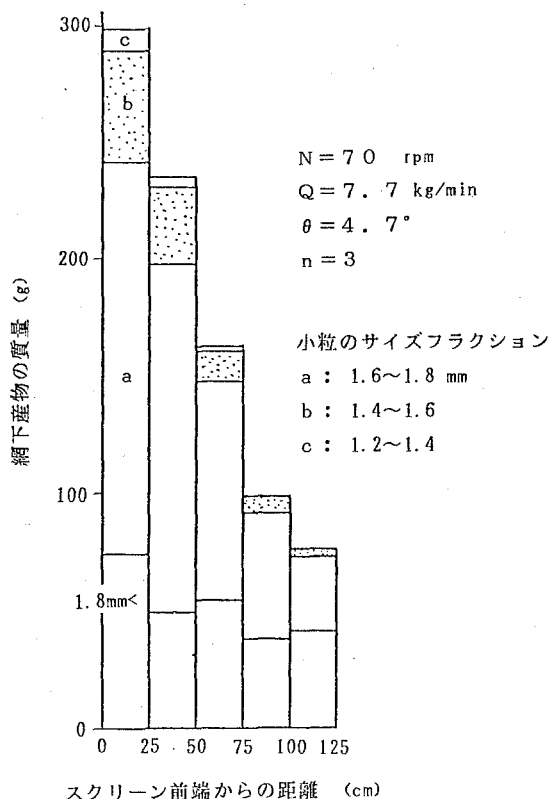


図2-12 網下産物の位置別粒径分布

網下産物量は流入口の近くほど大きい。また、図ではスリット幅1.80mmのシリンダを使用したにもかかわらず、どの位置においても1.80mmより大きな粒がある。これはシリンダのスリット幅にばらつきがあること（後述）、粒径分析にロータップシェーカを使用しているため、実際の値より若干大きく出ていることなどが考えられる。いずれにしても、比較的大きい粒は、位置にかかわらずほぼ一定に出ている。それに対して、比較的小さい粒は流入口近くで多くなっていることから、小粒は早い段階で選別されることがわかる。

d シリンダ内の材料滞留量および移送速度

シリンダに材料をある量で供給した時、運転条件によってシリンダ内に滞留する材

料の量が決まる。それは、選別に大きな影響を及ぼすと考えられるので、シリンダ単位長さ当たりの滞留量を測定した。その方法は次の通りである。シリンダをある条件で回転させ、シャッタ開度を一定にして材料を供給し、流れが定常状態に達した時にシャッタを閉じ、それと同時にシュートの下に容器を置き、シリンダ内にたまっていた材料をすべて回収し、質量を測定する。

シリンダ単位長さ当たりの滞留量 w (kg/m)

$$= \text{シリンダ内の滞留量 (kg)} / \text{シリンダ有効長 (m)} \quad (2-12)$$

ただし、シリンダ有効長は 1.30m である。シリンダ単位長さ当たりの滞留量 w を図 2-13 に示す。

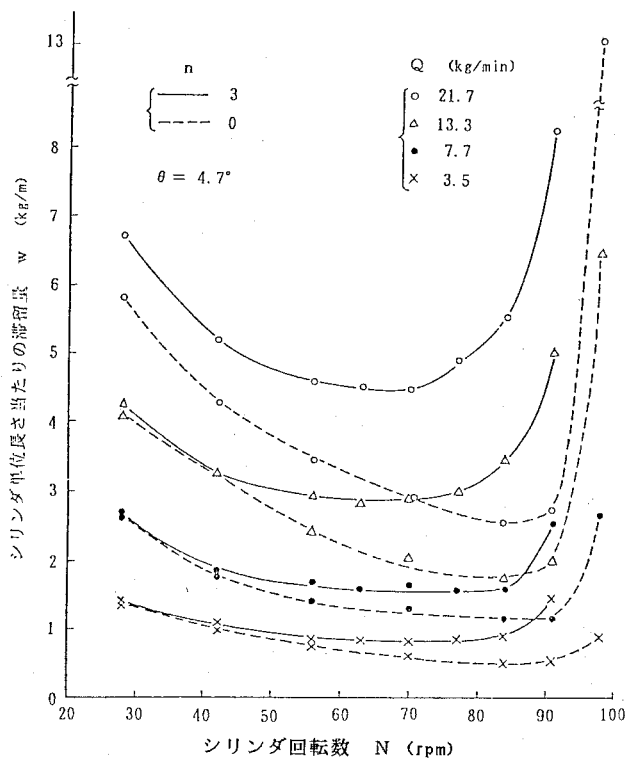


図 2-13 シリンダ回転数がシリンダ単位長さ当たりの滞留量に及ぼす影響

主な結果は次の通りである。

- ① 攪拌棒なしの時 w は N の上昇で低下し、 $N=80\sim 90\text{rpm}$ で最小値に達し、その後

急激に上昇する。攪拌棒 3本の時も傾向は同じであるが、 $N=60\sim 70\text{rpm}$ で最小値となる。② N が低い時、棒の有無でほとんど w の違いはないが、 N が高くなると攪拌棒ありの方が w は大きくなる。

③ Q の増大で w は大きくなる。

滞留量を測定した時と同じシャッタ開度で材料供給量を測定すると、次式より材料の移送速度が算出できる。

$$V_f = Q / w \quad (2-13)$$

Q : 材料供給量 (kg/min)

w : シリンダ単位長さ当たりの滞留量 (kg/m)

V_f : 移送速度 (m/min)

図2-14は攪拌棒の有無、材料供給量、シリンダ回転数が材料の移送速度に及ぼす影

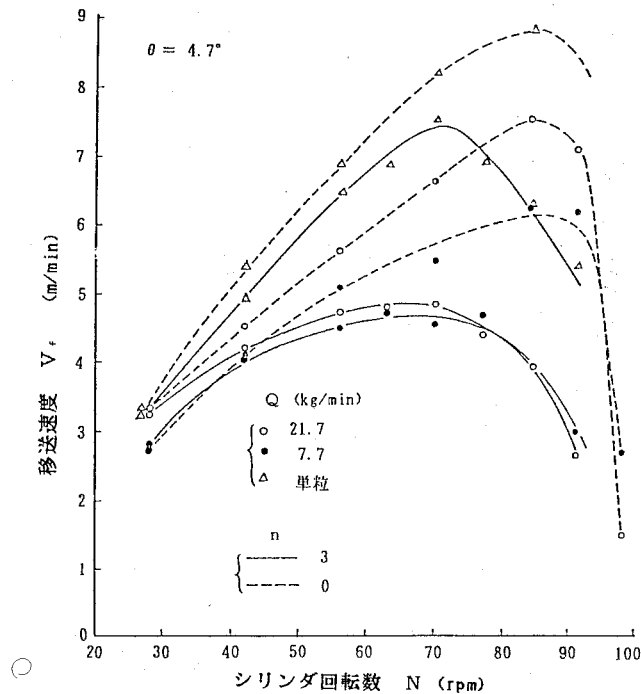


図 2-14 シリンダ回転数が材料の移送速度に及ぼす影響

響を示す。参考のために、単粒の移送速度（シリンダに単粒を供給し、排出されるまでに要する時間とシリンダ有効長から算出）を併記した。結果はいずれの場合も、回転数の増大に伴い移送速度は増大し、ピークに達した後再び低くなる。攪拌棒の有無にかかわらず、ピークを示す N は単粒も粒子群も同じであるが、その移送速度は単粒の方が高い。攪拌棒のある場合はない場合に比べ、ピークを生ずる回転数は低く、移送速度も低い。さらに、 N が30rpmの時、攪拌棒の有無、単粒および粒子群、 Q の多少にかかわらず、ほぼ $V_f = 3$ m/minと同じ値を示している。これは $N=0$ rpmの時 $V_f = 0$ m/minに収束するためである。

つぎに材料の移送速度がわかれば、スクリーン長から各粒が選別作用を受ける時間

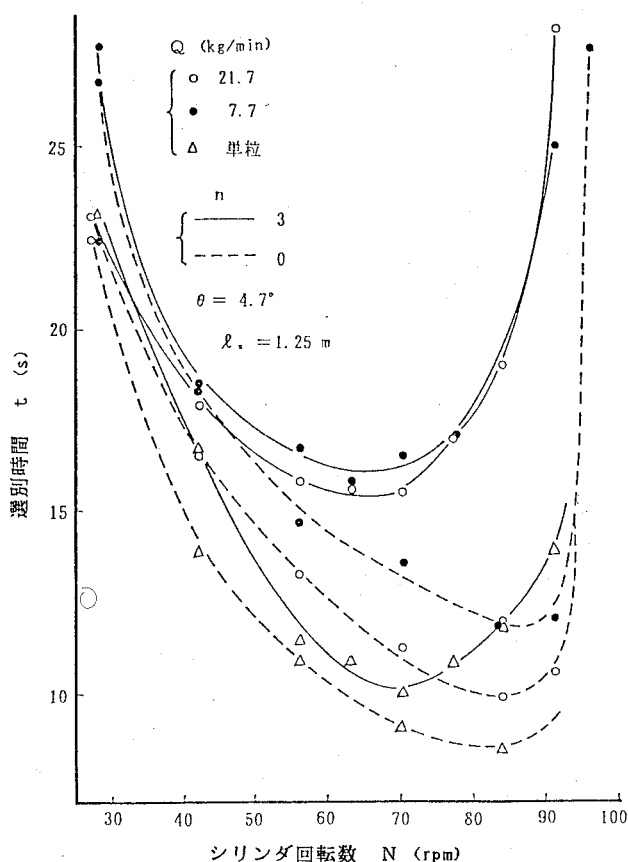


図 2-15 シリンダ回転数が選別時間に及ぼす影響

(選別時間) が算出できる。すなわち、

$$t = \frac{\ell_s}{V_f / 60} \quad (2-14)$$

ここに t : 選別時間 (s)

ℓ_s : スクリーン長 (m)

スクリーン長を 1.25m として選別時間を図示したのが図 2-15 である。攪拌棒がある場合、60~70rpm で選別時間は最小 (約15秒) になる。選別精度が高い80rpm では、選別時間は17~18秒になっている。シリンダ傾斜角と単位長さ当たりの滞留量の関係を図 2-16 に示す。 θ の増大に伴って w は小さくなっている。

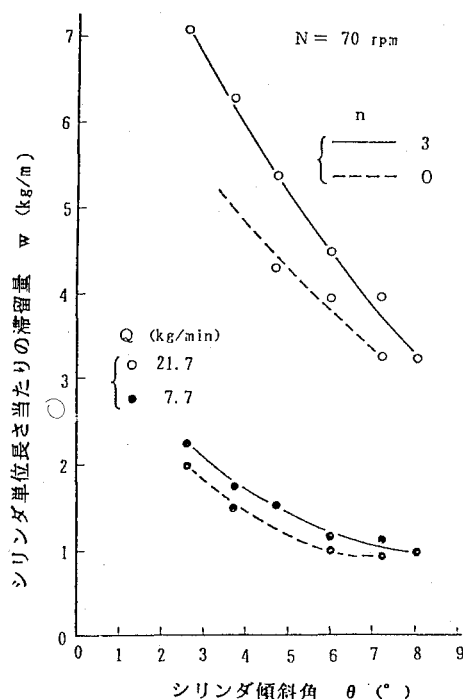


図 2-16 シリンダ傾斜角がシリンダ単位長さ当たりの滞留量に及ぼす影響

e シリンダの臨界回転数

いま、シリンダ内面上に質量 m の粒があると考え。その粒はシリンダの回転に伴

い上方に持ち上げられるが、やがて、重力のためシリンダから離れて落下する。しかし、シリンダ回転数が大きくなると遠心力のためシリンダに圧着してしまう。その時の臨界回転数 N_c は、粒に作用する遠心力が重力に等しいと置くことにより、計算される⁷⁴⁾。

$$m \left(\frac{D}{2} \right) \omega^2 = m g \quad (2-15)$$

$$\omega = 2 \pi N_1 = \frac{\pi}{30} N \quad (2-16)$$

(2-16) を (2-15) に代入すると、

$$N_c = N = \frac{422.7}{\sqrt{D}} \quad (2-17)$$

ここに、
 m : 粒の質量 (g)
 D : シリンダ直径 (cm)
 ω : シリンダ角速度 (rad/s)
 g : 重力加速度 (cm/s^2)
 N_1 : シリンダ回転数 (rps)
 N : " (rpm)
 N_c : 臨界回転数 (rpm)

N_c は D の関数であり、シリンダ直径 $D = 28\text{cm}$ を代入すると、 $N_c = 79.9\text{rpm}$ となる。すなわち、シリンダ回転数が N_c より大きくなると、粒がシリンダ内壁に圧着し、軸方向の粒の速度（移送速度）は小さくなり、単位長さ当たりの滞留量が増加する。

(2) 回分式選別装置による実験

大粒と小粒を一定の割合で混合して回分式選別装置で選別し、選別時間と網下産物質量の関係を求めた。大粒とは、連続式選別装置でスリット幅 2.0mm のシリンダを標準的な状態 ($n = 3$ 、 $\theta = 4.7^\circ$ 、 $N = 70\text{rpm}$ 、 $Q = 7.7\text{kg/min}$) で運転し、材料を

2 回通した網上産物で、小粒とは、ロータップシェーカと標準ふるいにより 1.2～1.4, 1.4～1.6, 1.6～1.8 mmの 3段階に区分したものである。供試した短シリンダは攪拌棒3本とないもので、滞留量を1、2、4、8 kg/mに変化させた。

a 選別の経時変化

網下産物質量と選別時間の関係を図2-17に示す。パラメータはシリンダ単位長さ当たりの滞留量 w である。 w が小さい時は、小粒の選別は短時間でほぼ完了するが、 w

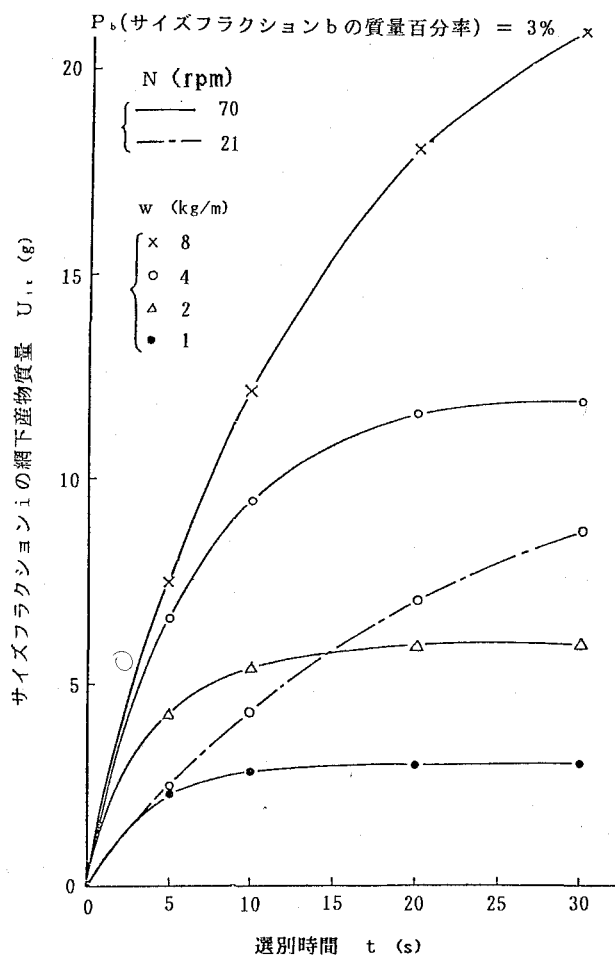


図2-17 網下産物質量の経時変化

が大きくなると選別に長時間を要する。また、 w が同じであっても、シリンダ回転数が低ければ選別に長時間を要する。

いま、 $M_{i,0}$: サイズフラクション i の初期 ($t=0$) 質量 (g)

$M_{i,t}$: サイズフラクション i の t 秒後に網上に残留している質量 (g)

$U_{i,t}$: サイズフラクション i の t 秒後の網下産物質量 (g)

R_i : サイズフラクション i の網上残留率

とすると、

$$M_{i,0} = M_{i,t} + U_{i,t} \quad (2-18)$$

$$R_i = \frac{M_{i,t}}{M_{i,0}} \quad (2-19)$$

となる。

縦軸に R_i を取り (対数表示)、図2-17を書き直したのが図2-18である。図は

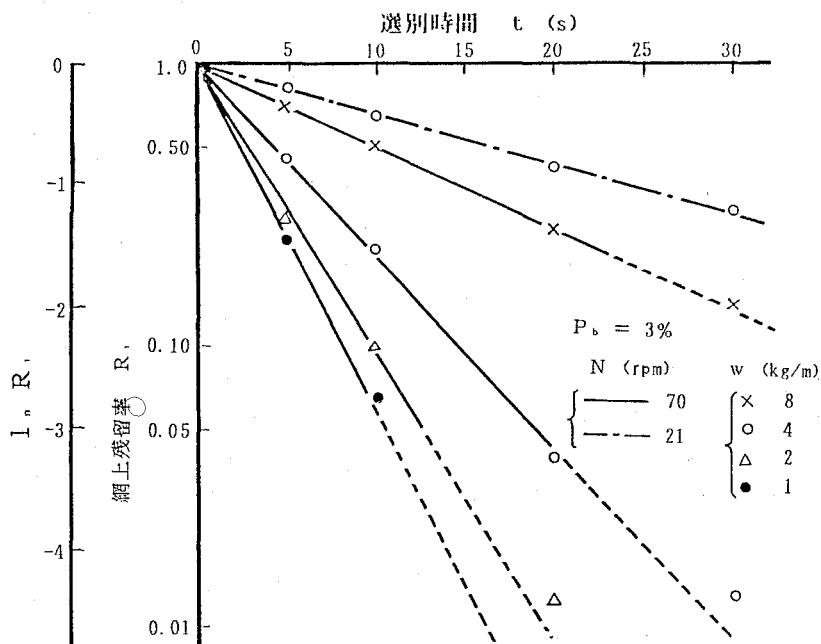


図 2-18 選別時間と網上残留率の関係

$t=0$ 、 1 、 $R_i=0$ を通る直線とみなすことができる。その勾配を $-\lambda_i$ 、とすると、

$$1, R_i = -\lambda_i, t \quad (2-20)$$

$$\therefore R_i = e^{-\lambda_i, t} \quad (2-21)$$

式(2-19)より

$$M_{i,t} = M_{i,0} e^{-\lambda_i, t} \quad (2-22)$$

すなわち、サイズフラクション i の網上残留質量は指数関数で減少することがわかる^{16) 46)}。なお図2-18では t が大きくなると、いずれの測定値も直線の上方へずれている。これは、後藤²³⁾ が指摘しているように、1つのサイズフラクションの中にも粒径の分布があるためである。そのため、 λ_i の値の算出にあたっては直線部分を用いる必要がある。

b 選別速度係数

式(2-22)の λ_i は選別の容易さを表す係数であり、Feller¹⁶⁾ はこれをサイズフラクション i の passage rate factor (選別速度係数) と呼んでいる。回分式選別装置によって λ_i を測定した。方法は5秒間の網下産物質量を測定し、式(2-22)から計算した。 λ_i とシリンダ回転数の関係を図2-19に示す。 λ_i はいずれのサイズフラクションにおいても、回転数に対してほぼ直線的に高くなり、臨界回転数近辺でピークになる。図2-20はシリンダ回転数が42、56、70、84rpmの時の λ_i とシリンダ単位長さ当たりの材料滞留量の関係である。滞留量が少なくなると急激に λ_i は大きくなっている。図2-21は小粒の含有率を1.5 %から12%まで変化させた時の λ_i を示したものであり、 λ_i は小粒含有率と関係なくほぼ一定である。

(3) 選別に影響する各因子の関係

シリンダの幾何学的条件、シリンダ傾斜角、回転数が決まると、図2-13に見られるように材料の供給量ごとにシリンダ単位長さ当たりの滞留量が決まる。滞留量が決まると回分式試験(図2-20)により λ_i が決まる。さらに、 Q と w から式(2-13)より

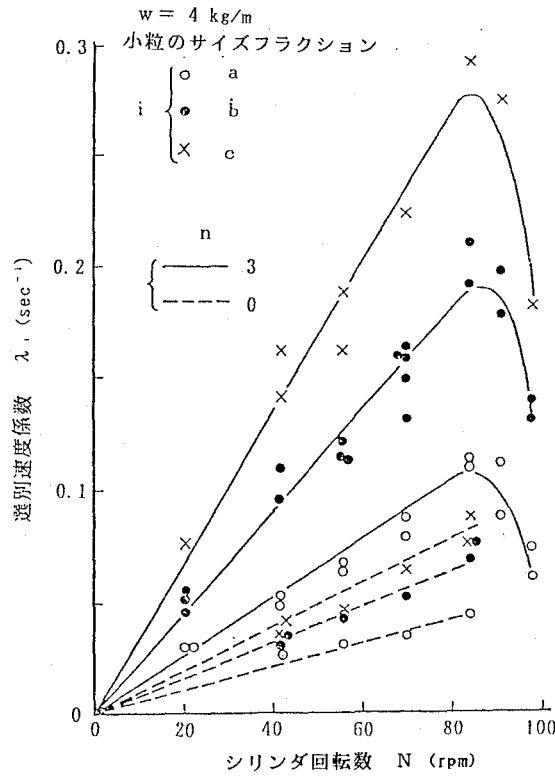


図 2-19 選別速度係数とシリンダ回転数の関係
($i = a, b, c$)

V_f が、 ℓ_s と V_f から式 (2-14) より選別時間 t が決定される。Feller は振動ふるいの実験¹⁶⁾ で、ふるい分け効率 E を式 (2-23) で表している。

$$E (\%) = 100 \times \left(\sum_{i=a}^c P_i - \sum_{i=a}^c P_i \exp(-\lambda_i t) \right) / \sum_{i=a}^c P_i \quad (2-23)$$

ここに、 P_i : 材料中のサイズフラクション i の含有率 (%)

a : 1.6 ~ 1.8 mm のサイズフラクション

b : 1.4 ~ 1.6 mm のサイズフラクション

c : 1.2 ~ 1.4 mm のサイズフラクション

式 (2-23) の P_i の代わりに M_{i0} を使うと、

$$E (\%) = 100 \times \left(\sum_{i=a}^c M_{i0} - \sum_{i=a}^c M_{i0} \exp(-\lambda_i t) \right) / \sum_{i=a}^c M_{i0} \quad (2-24)$$

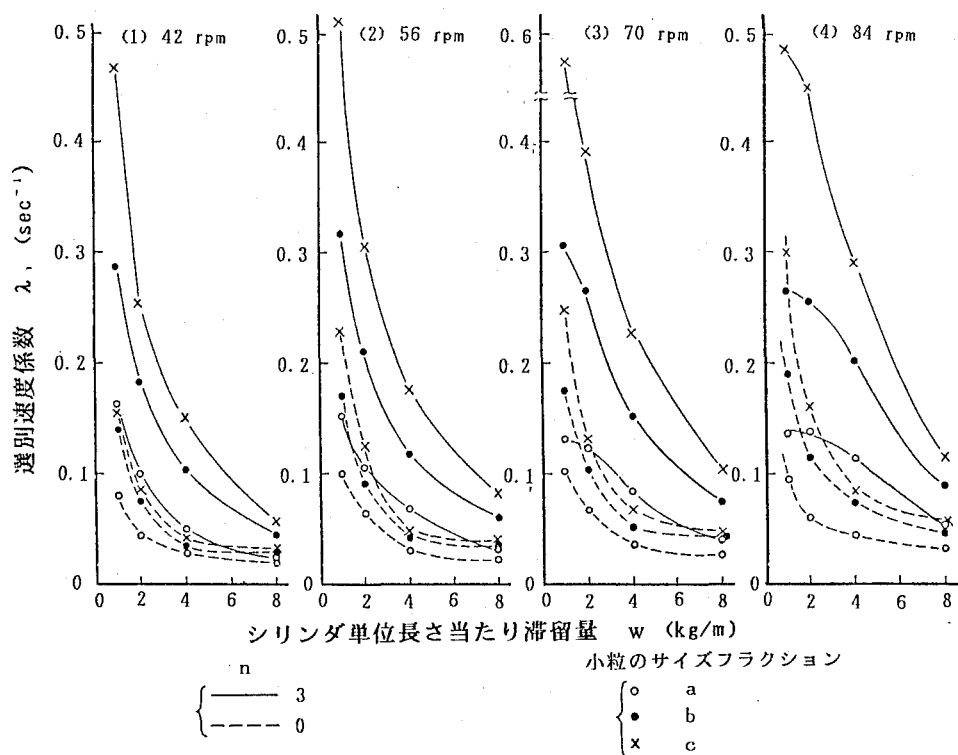


図 2-20 シリンダ単位長さ当たりの滞留量と小粒フラクションが選別速度係数 λ に及ぼす影響 (シリンダ回転数 $N=42\sim 84$ rpm)

つぎに、式(2-23)または(2-24)を使って具体的に試算を行い、実測値と比較した。

a 選別性能

いま、 $P_a=1.3\%$ 、 $P_b=0.5\%$ 、 $P_c=0.2\%$ とし、攪拌棒の有無、シリンダ傾斜角、回転数、材料供給量を定め、図 2-13からシリンダ単位長さ当たりの滞留量 w を求める。その w に対応する λ を図2-20より求め、式(2-23)よりふるい分け効率 E を計算し、その結果を図2-22に示す。これは図2-10に対応し、両図はほぼ近い値を示している。しかし若干異なっているのは、粒の表面滑度の変化による網下産物量の変化や、 w 、 λ などの誤差のためであろう。今後、さらにこれらを精度よく測定す

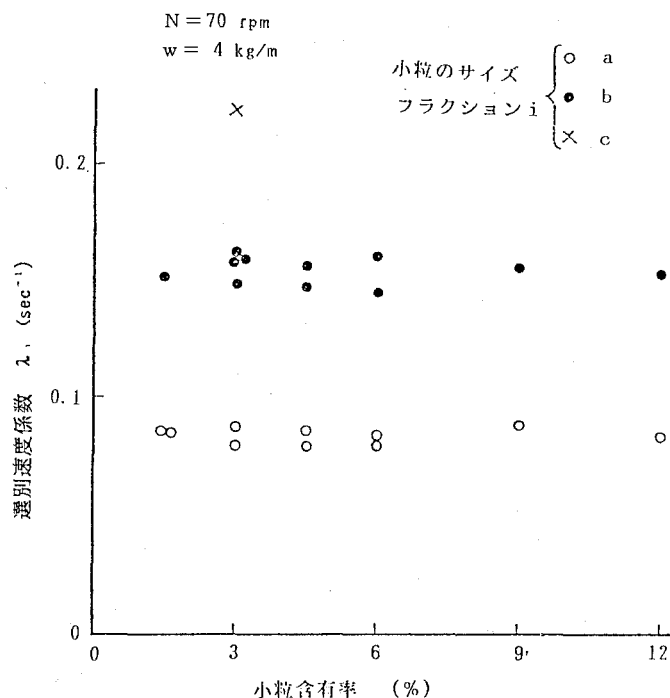


図 2-21 選別速度係数と小粒含有率の関係

れば、かなり一致するものと思われる。同様に図2-16より w を求めて、シリンダの各傾斜角ごとにふるい分け効率を出した（図2-23）。これは図2-11に対応する。

b シリンダの選別位置による網下産物の粒径

図2-12のブロックの仕切り位置が決まると、そこでの選別時間、網下産物が決まるので、各ブロックの網下産物は、両側の仕切り位置における網下産物の差として表わされる。図2-12の実験に対応する計算結果を図2-24に示す。

c 選別に必要なシリンダの長さ

シリンダの位置によるふるい分け効率の変化を、条件を変えて計算した（図2-25）。これによって、必要なふるい分け効率を得るためのシリンダ長が決定される。しかし、この図はサイズフラクシオン a 、 b 、 c を合計したふるい分け効率である。各フラク

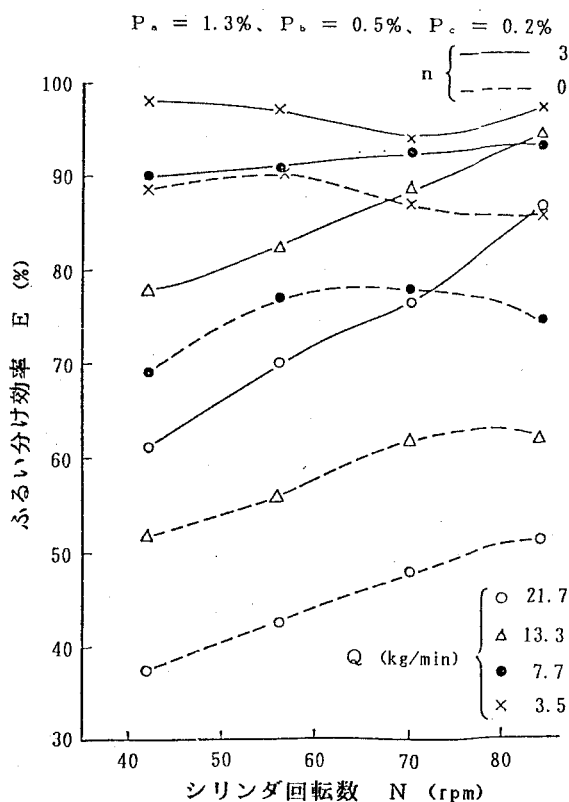


図2-22 選別速度係数から計算したふるい分け効率

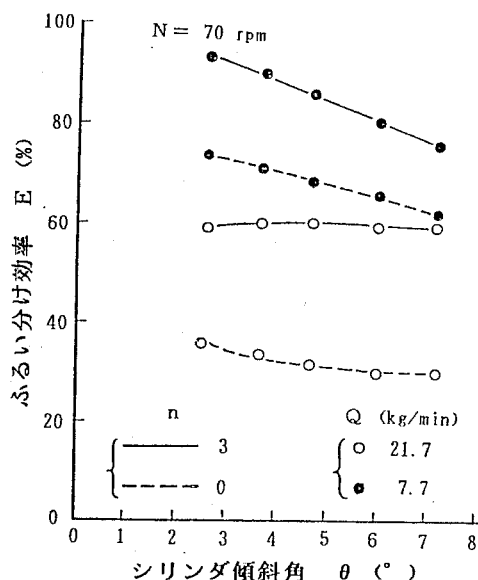


図2-23 選別速度係数から計算したふるい分け効率
(シリンダ傾斜角の影響)

ションに着目すると、その網上残留率は図2-26になる。この図によれば、各フラクションごとにシリンダ長の決定が可能である。たとえば、材料供給量21.7kg/minではサイズフラクションcの90%を選別するには0.91m、また、サイズフラクションaの90%を選別するには2.48mが必要となる。ただし、後者の場合フラクションbは99%選別されている。

以上で各因子間の関係、各因子と E の関係がある程度わかった。これらを図示すると図2-27になる。

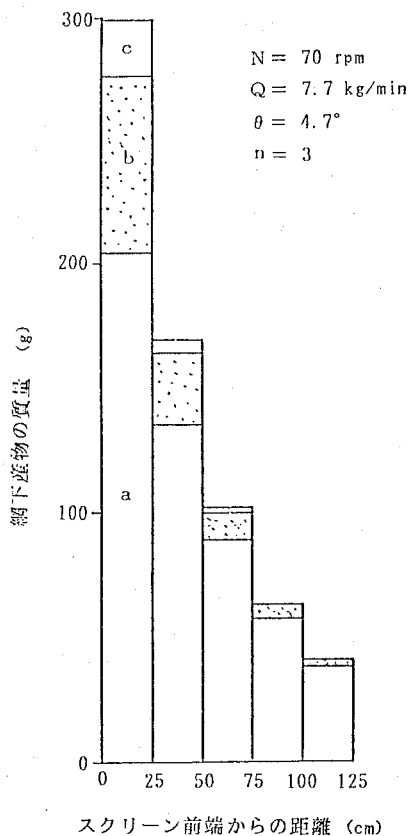


図 2-24 網下産物の位置別粒径分布 (計算値)

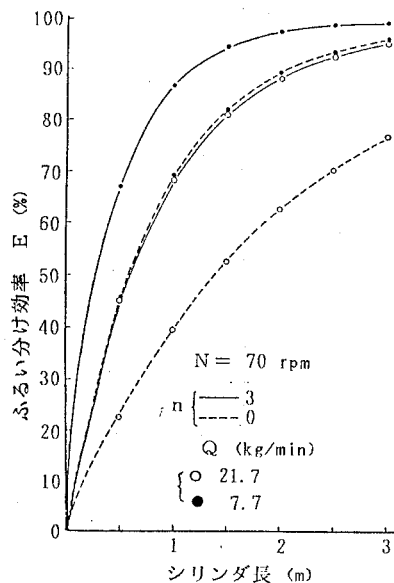


図 2-25 シリンダ長とふるい分け効率の関係

3. 第2節の総合考察

回転米選機の選別精度、能率に影響する因子は、第1節に述べたように沢山ある。しかし、ふるい分け効率 E は図2-27で示したように、最終的には M_{10} 、 λ_1 、 t で決定される。 M_{10} は供給材料を粒径分析すれば決まるが、 λ_1 、 t に影響する因子は数多くある。しかし、その因子は (1) λ_1 のみに影響するもの、(2) t のみに影響するもの、(3) λ_1 と t の両方に影響するもの、に分けられる。たとえば、(1)にはスリット形状、スリット幅、スリット長、空間率、小粒粒径、(2)にはスクリーン長、(3)には(1)、(2)以外の因子が含まれる。

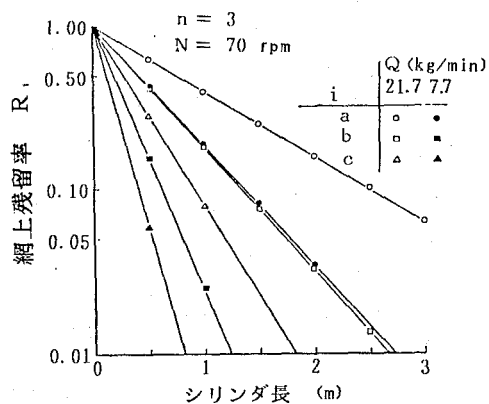
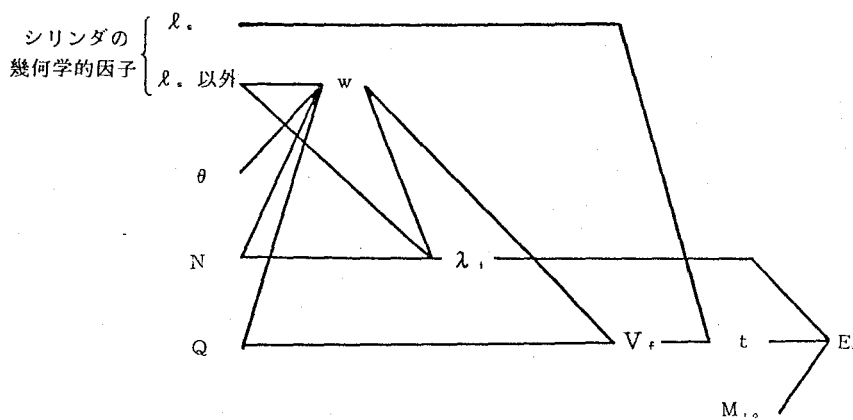


図2-26 網上残留率とシリンダ長の関係



$$E = \frac{100 \times \left(\sum_{i=a}^c M_{i,0} - \sum_{i=a}^c M_{i,0} \cdot e^{-\lambda_i t} \right)}{\sum_{i=a}^c M_{i,0}} \quad (2-24)$$

$$V_r = \frac{Q}{w} \quad (2-13)$$

$$t = \frac{\lambda_0}{V_r / 60} \quad (2-14)$$

図2-27 各因子間の関係

米選機の改良を考える場合、特定の因子の水準や内容を変えシリンダを試作し、性能試験をすることが多い。この時、どの因子についても長シリンダのみを使用するのは合理的でない。すなわち、(1) の λ のみに影響する因子については、短シリンダのみを変えて λ を測定し、ふるい分け効率 E を計算するのが合理的である。この方が費用が軽減され、使用する材料も少なくてすむ。

第3節 シリンダ直径、攪拌棒

本節では、シリンダ直径および攪拌棒の条件を変えて、それが選別精度、材料滞留量、選別速度係数に及ぼす影響について検討を行った。

1. 実験装置および方法

(1) 実験装置

シリンダ直径の影響を調べるため、第2節で使用した $\phi 280$ シリンダより大直径のシリンダ ($\phi 384$ 、 $\phi 480$) と小直径のシリンダ ($\phi 140$ 、 $\phi 210$) を製作した。供



図2-28 供試シリンダ ($\phi 480$ 、 $\phi 384$ 、 $\phi 280$ 、 $\phi 210$ 、 $\phi 140$)

試シリンダを図2-28に示す。 $\phi 280$ 、 $\phi 384$ 、 $\phi 480$ シリンダには第2節と同じ連続式選別装置（図2-4）を使用した。材料供給量を大きくするため、供給口を改造した。また、 $\phi 140$ 、 $\phi 210$ シリンダは、図2-29のようなシリンダを片持ち支持した連続式選別装置（1号機）を試作し、使用した。1号機は、シリンダの材料供給口を大きくとるためにシリンダ全体を片持ち支持したものであるが、そのために、シリンダ回転

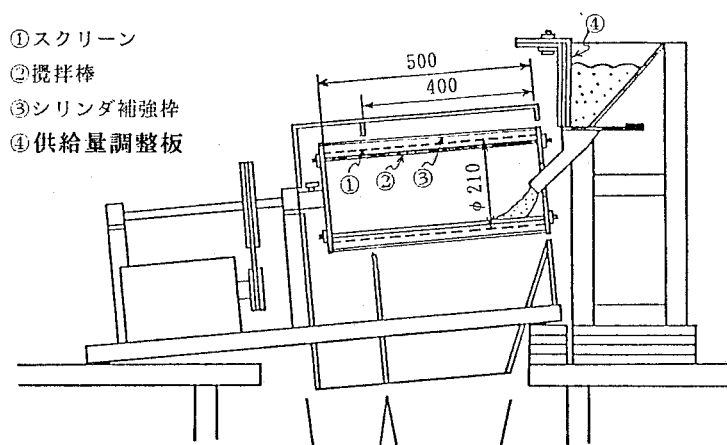


図2-29 $\phi 210$ 、 $\phi 140$ シリンダ用実験装置（連続式）（1号機）

数が大きくなるとシリンダに若干振動が出ること、また、片持ちシリンダを補強する枠がスクリーンの外側にあるために、目づまり防止板を取り付けられないという欠点を有していた。そこで、シリンダを両端支持した2号機（図2-30）を製作した。これでは、材料供給シュート中をシリンダの軸が通るが、シュート断面を可能な限り大きく取ったため材料供給の支障はなかった。さらに、シリンダ回転数が大きくても振動はなく、シリンダの補強枠が不用のため目づまり防止板を取り付けることができた。回転式選別には、上記5段階の直径の短シリンダ部を製作（重量軽減のため、スクリーン保持板をアルミ製とした。）し、第2節と同じ選別装置に装着した（図2-9）。なお、シリンダ直径について断面積やその比、シリンダの臨界回転数（式(2-17)）を表

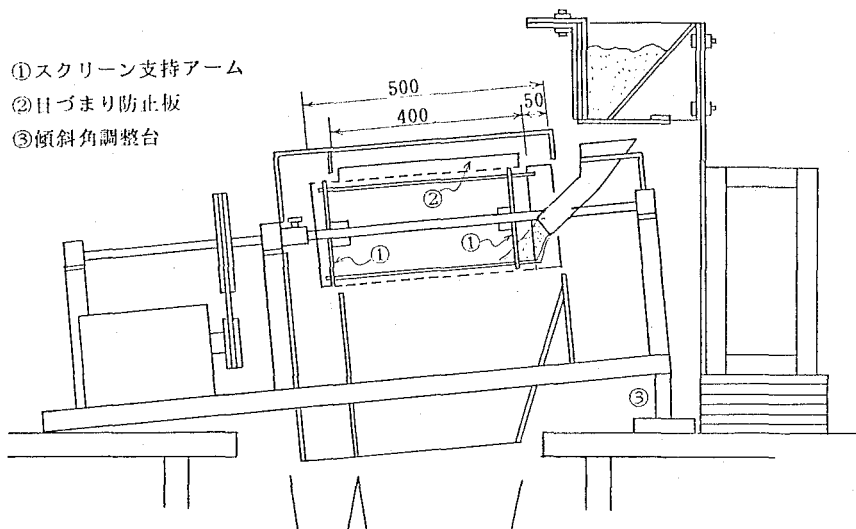


図 2-30 $\phi 210$ 、 $\phi 140$ シリンダ用選別装置 (連続式) (2号機)

表 2-4 シリンダ直径

シリンダ直径 D (mm)	$\phi 480$	$\phi 384$	$\phi 280$	$\phi 210$	$\phi 140$
D の比	1.71	1.37	1	0.75	0.5
断面積 S (cm ²)	1810	1158	618	346	154
S の比	2.94	1.88	1	0.56	0.25
シリンダの臨界回転数 N_c (rpm)	61.0	68.2	79.9	92.2	113.0

2-4 に示した。つぎに、攪拌棒の影響を調べるため、攪拌棒の本数 n 、直径 d 、位置 δ (スクリーンから攪拌棒の中心までの距離) を変えられるようにした (図2-8)。

(2) 実験方法

連続式選別装置および回分式選別装置によって、シリンダ直径および攪拌棒の条件を変えて実験を行った。供試シリンダの直径と攪拌棒の実験条件を連続式、回分式に分けて表2-5 に示す。なお、攪拌棒の条件は以後 ($n-d-\delta$) と略記する。

表 2-5 供試シリンダと攪拌棒に関する実験条件

	シリンダ直径 D (mm)	$\phi 480, \phi 384, \phi 280$	$\phi 210, \phi 140$
連続式 装置	スクリーン長 ℓ_s (mm)	1250	370
	攪拌棒 $\begin{cases} n \\ d \text{ (mm)} \\ \delta \text{ (mm)} \end{cases}$	0, 3, 6	3
		14, 22	9
		15, 30	10
回分式 装置	スクリーン長 ℓ_s (mm)	100	100
	攪拌棒 $\begin{cases} n \\ d \text{ (mm)} \\ \delta \text{ (mm)} \end{cases}$	0, 3, 6, 8, 12	3
		10, 15, 20	10
		10, 15, 20, 25	10

2. 実験結果および考察

(1) 選別精度

a シリンダ直径の影響

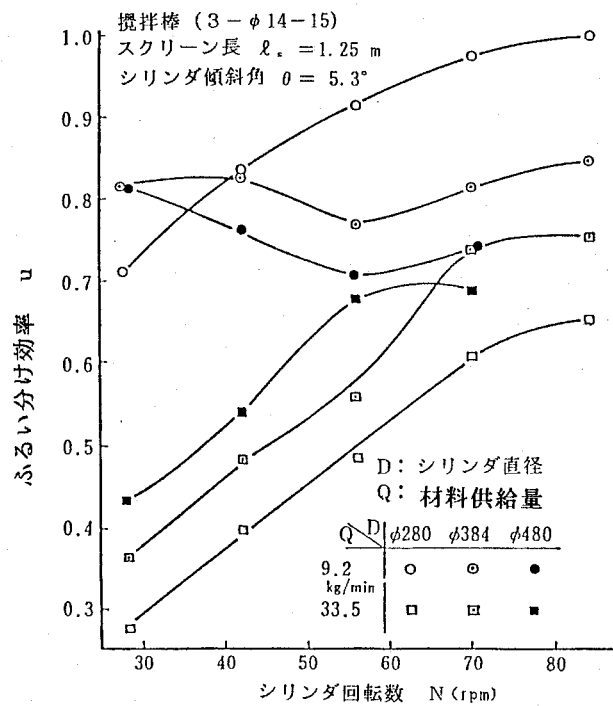


図2-31 シリンダ直径、材料供給量、回転数がふるい分け効率 u に及ぼす影響

まず、 $\phi 280$ 、 $\phi 384$ 、 $\phi 480$ シリンダを用いて、攪拌棒の条件を (3 - $\phi 14-15$) に固定してシリンダ直径の影響を調べた。

シリンダ回転数とふるい分け効率 u の関係を図2-31に示す。一般的傾向として、回転数の増大に伴い u は高くなっている。それは、材料に作用する遠心力が大きくなること、および材料の攪拌がよくなることなどによるものと考えられる。しかし、回転数がさらに大きくなると、遠心力のために材料がスクリーンに圧着して選別が行われなくなる。したがって、臨界回転数付近で u は最大値をとり、さらに大きな回転数で減少している。

材料供給量が小さい場合、 $\phi 280$ シリンダでは回転数の増大に伴い単調に u が増大しているのに反し、 $\phi 380$ 、 $\phi 480$ では60~70rpm でいったん減少している。これは後述するように、材料のシリンダ単位長さ当たりの滞留量が減少する (図2-35) ことに伴って、材料の移送速度 V_f が大きくなり、選別時間 t が短くなる (図2-36) こと、および材料滞留深 h が小さくなり、攪拌棒が十分作用しなくなるためと思われる。 $\phi 384$ は $\phi 280$ と $\phi 480$ の中間の傾向を示している。

各シリンダ直径別に臨界回転数付近の u を比較すると、 $\phi 280$ では小供給量で u は著しく高いが、大供給量で極めて低い値を示す。しかし、 $\phi 480$ では小供給量でも高くないが、大供給量でもそれほど低くない。すなわち、大直径シリンダでは小直径のものに比べて供給量が大きくなっても、 u はそれほど低下しない利点を有することがわかる。

b 攪拌棒の影響

従来使用されてきた攪拌棒の条件は (3 - $\phi 14-15$) である。攪拌棒がふるい分け効率 u に及ぼす影響を調べるため、攪拌棒の本数 n を 3、6 に、直径 d を $\phi 14$ 、 $\phi 22$ に、位置 δ を 15、30mm に変化させた (図2-32)。(3 - $\phi 14-30$) は攪拌棒 0 本とほとんど変わらない値を示している。これは攪拌棒のスクリーンからの距離が大きく、攪拌棒の材料への作用が少ないためである。 δ が 15mm では u はかなり大きくなり、6

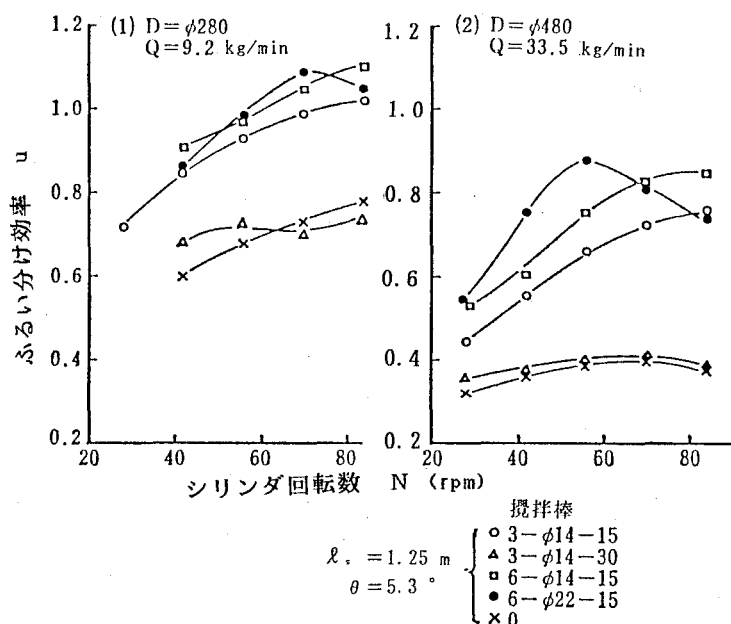


図2-32、攪拌棒の条件がふるい分け効率 u に及ぼす影響

本にするとさらに大きくなった。ついで、 d を $\phi 22$ にすると u は臨界回転数以下では (6 - $\phi 14-15$) より高い値を示したが、それ以上では下がった。これは図2-37に見られるように、 w が大きくなったためであろう。以上の傾向は $\phi 280$ 、 $\phi 480$ でほぼ同じである。

c シリンダ傾斜角の影響

攪拌棒の条件を (3 - $\phi 14-15$) と一定にし、直径 $\phi 280$ 、 $\phi 480$ のシリンダを用いて、シリンダ傾斜角 θ がふるい分け効率 u に及ぼす影響を調べた (図2-33)。 θ が小さくなるにつれて u は上昇するが、ある θ で最大値に達し、その後、減少の傾向となる。材料供給量が大きいくほど、大きい θ で最大値に達する。図2-34は材料供給量を一定にして攪拌棒の条件を変えた結果である。図2-33と同様に上に凸の曲線が得られる。攪拌棒が (3 - $\phi 14-15$)、(6 - $\phi 14-15$)、(6 - $\phi 22-15$) と変化するにつれて、つまり、攪拌棒の本数が多く、直径が大きいくほど、 u のピークを示す θ は次

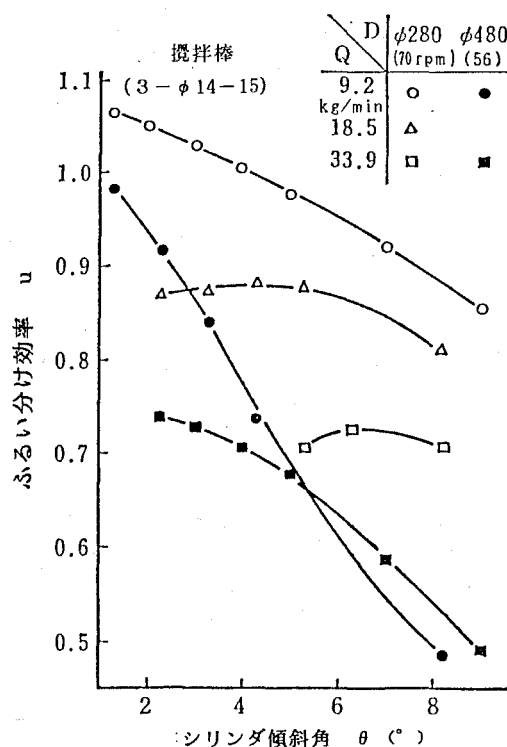


図2-33 シリンダ直径、材料供給量、傾斜角がふるい分け効率に及ぼす影響

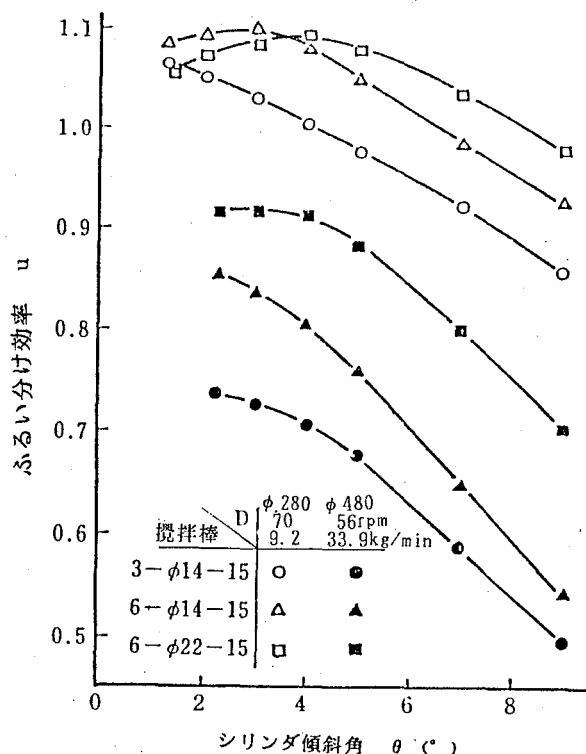


図2-34 攪拌棒の条件、傾斜角がふるい分け効率uに及ぼす影響

第に大きくなる。

(2) シリンダ内の材料滞留量

以上述べたふるい分け効率uの変化を考察するため、基礎試験として、連続式選別装置を用いて、材料のシリンダ単位長さ当たりの滞留量w (kg/m) を測定した。図2-35はシリンダ直径と材料供給量をパラメータにし、回転数によるwの変化をみたものである。これは図2-31に対応する。wはNの上昇と共に減少し、最小値に達した後、再び大きくなる。その最小値を示すNは、各シリンダの臨界回転数付近である。材料供給量が同じ時は、シリンダ直径が大きいほどwの値は小さくなる。この図をもとにして式(2-13)から V_* を求め、スクリーン長1.25mの選別時間を示したのが図2-36で

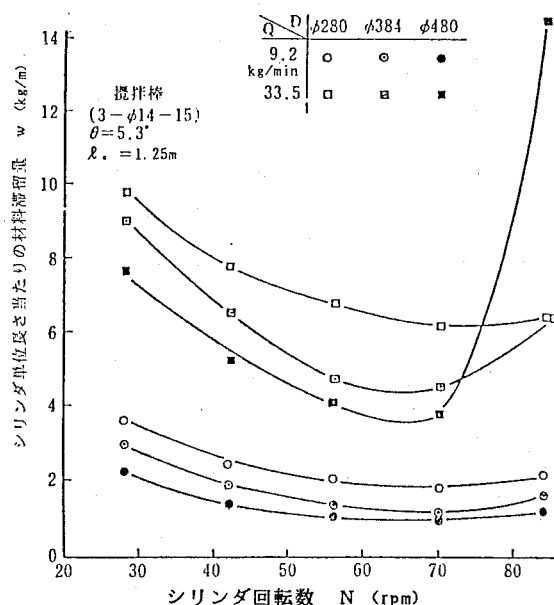


図2-35 シリンダ直径、材料供給量、回転数がシリンダ単位長さ当たりの滞留量に及ぼす影響

ある。この図から材料供給量は選別時間に全く影響しないことがよくわかる。臨界回転数付近の選別時間は直径φ480では約8.5秒であり、φ280の約15秒よりかなり短くなっている。図2-31でみられるように、大直径シリンダで選別精度が低いのは選別時間が短いことが一因である。

つぎに、攪拌棒の条件を変えた時のwの変化を図2-37に示す。これは、図2-33に対応するものである。wはNの上昇に伴って、攪拌棒がない時単調に減少し、(3-φ14-30)もほぼ同様である。そのほかのものでは、はじめ下降して最小値に達し、その後上昇する。また、(3-φ14-15)から(6-φ14-15)、(6-φ22-15)と変わるにつれて、wの最小値を示す回転数が減少し、その最小値は増大している。つまり、攪拌棒の本数が多く、太くなれば、材料に及ぼす作用が大きくなり、低い回転数でスクリーン内面への圧着がはじまる。低回転数では、攪拌棒の作用の大きい条件

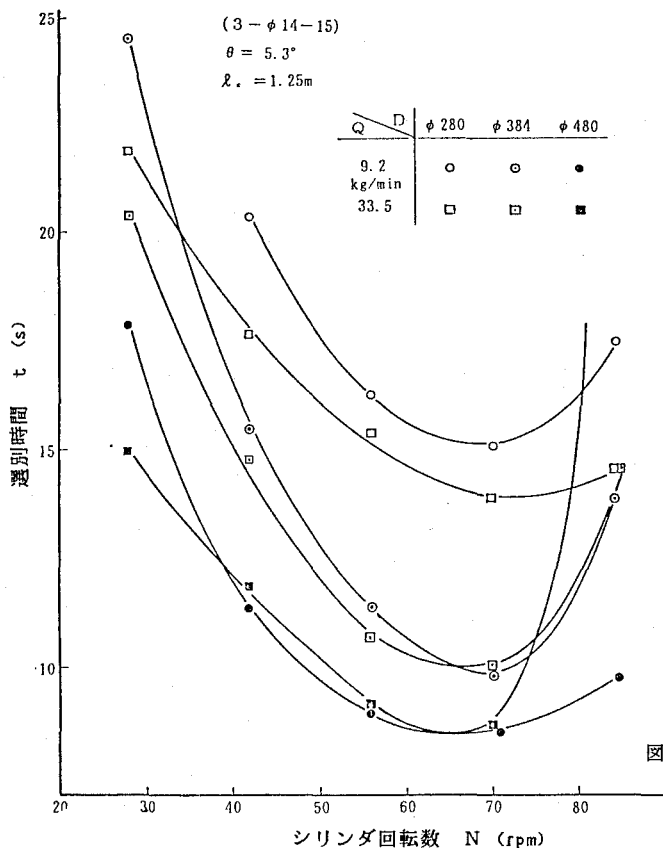


図2-36 シリンダ直径、材料供給量、回転数が選別時間に及ぼす影響

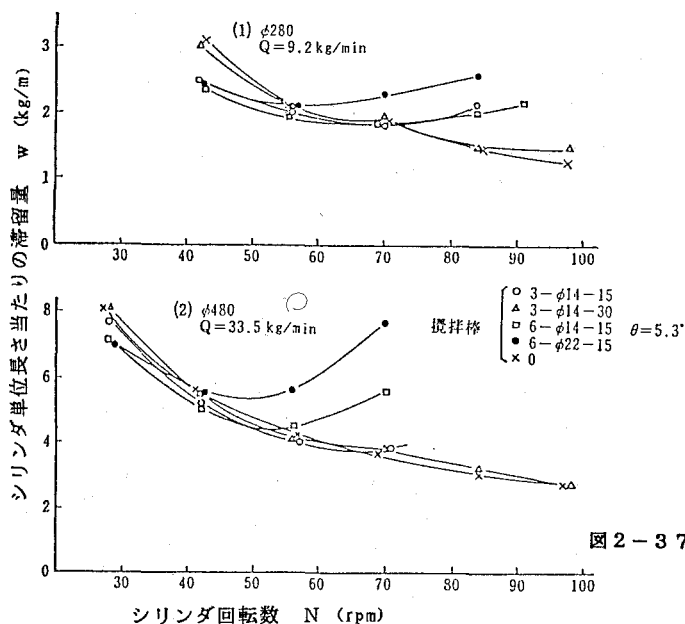


図2-37 撹拌棒の状態がシリンダ単位長さ当たりの滞留量に及ぼす影響

で w は低い値を示しているが、それは材料の移送速度が大きくなるからであろう。以上の傾向は $\phi 280$ 、 $\phi 480$ シリンダで同じである。

つぎに、シリンダ傾斜角を変えた場合の w の変化を図2-38に示す。 θ が小さくなると、急激に w は大きくなる。また、攪拌棒が3本より6本、棒の直径が $\phi 14$ より $\phi 22$ の方が w は大きくなっている。

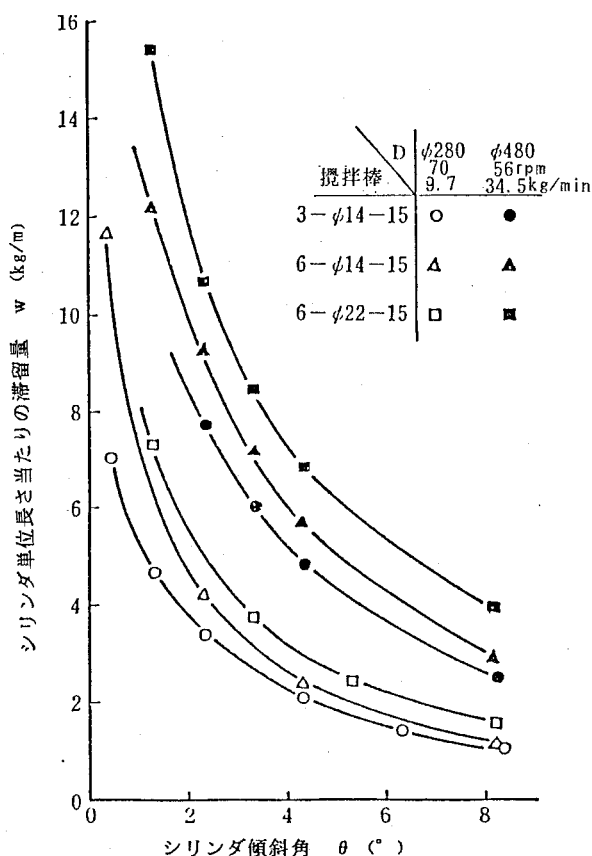


図2-38 攪拌棒の状態とシリンダ傾斜角がシリンダ単位長さ当たりの滞留量に及ぼす影響

(3) 選別速度係数

ふるい分け効率 u の解明のために、回分式選別装置を使って、選別速度係数 λ_1 を測定した。測定時間は第2節では5秒としたが、選別のよい条件では小粒の大部分が

網下産物になってしまうため、小粒の網上残留率がほぼ0.5 になる時間を使用して λ を決めた。

図2-39は $\phi 280$ 、 $\phi 480$ シリンダで、(1) は攪拌棒の本数 n 、(2) は直径 d 、(3) は位置 δ の影響を調べたものである。(1) によると、 n は0より大きい方がよいが、多すぎると選別速度係数 λ は下がった。また w が大きくなると最適な n は小さくなる傾向がある。(2) では、実験の範囲では、直径が大きいほど λ は大きくなった。(3)では、 w が小さい時 δ は小さい方がよく、 w が大きくなると δ もある程度大きい方がよい。

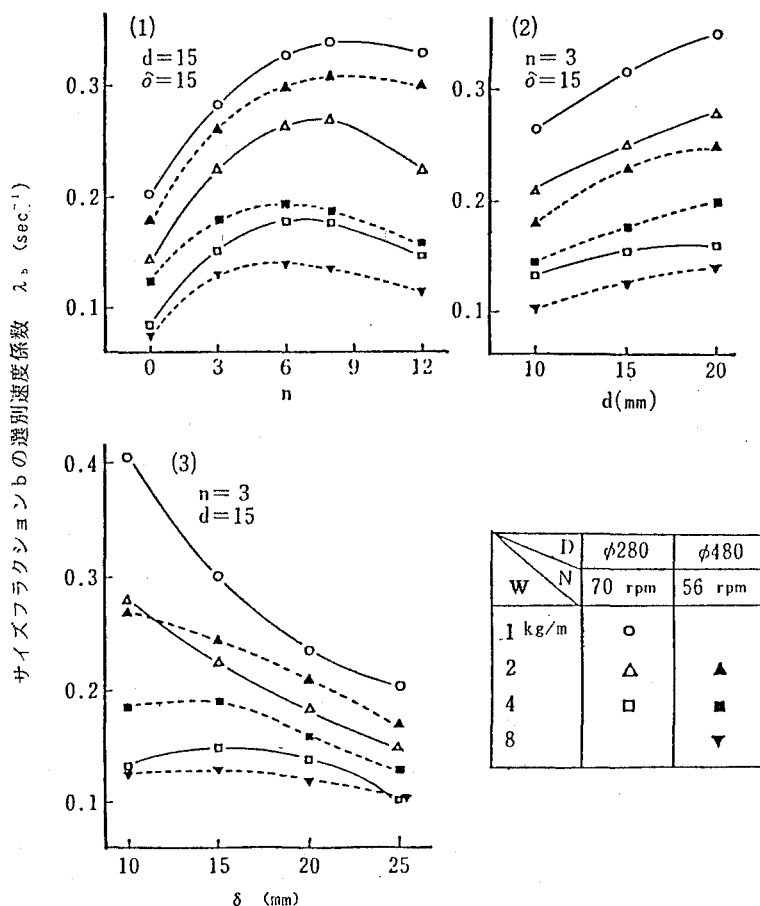


図2-39 攪拌棒の本数、直径、位置が選別速度係数に及ぼす影響

以上、まとめると、 w にもよるが、 $n=6$ 、 $d=\phi 20$ 、 $\delta=10\sim 15\text{mm}$ で λ_0 は大きくなると思われる。そこで、攪拌棒の条件を、 $(3-\phi 15-15)$ と $(6-\phi 20-15)$ に変え、小粒のサイズフラクションごとに λ_0 を測定した(図2-40)。

攪拌棒を3本から6本に変えた時の効果は、 $\phi 280$ シリンダでは w が小さい(1~4 kg/m)時のみで、しかも、 λ_0 の増分はわずかである。しかし、 $\phi 480$ シリンダでは w の広い範囲で λ_0 の増分が大きい。

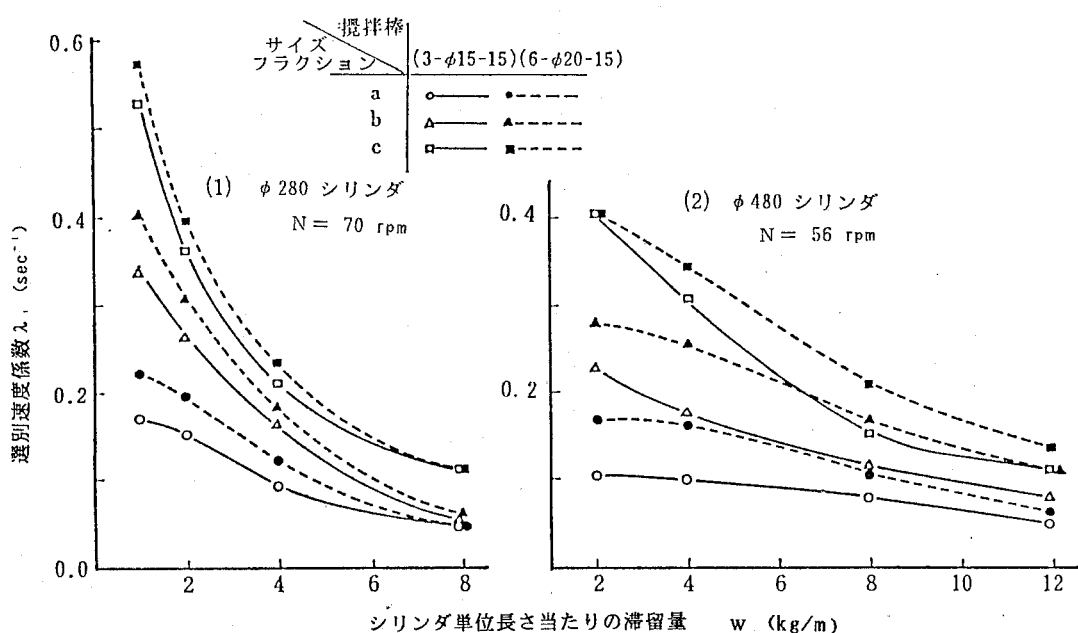


図2-40 サイズフラクションとシリンダ単位長さ当たりの滞留量が選別速度係数に及ぼす影響

(4) 各因子の無次元化

以上は $\phi 280$ 、 $\phi 384$ 、 $\phi 480$ シリンダについてであったが、つぎに、シリンダ直径が小さい $\phi 140$ 、 $\phi 210$ についてふるい分け効率 u 、選別速度係数 λ_0 、シリンダ単位長さ当たりの滞留量 w を検討する。しかし、これは表2-5に示すように $\phi 480$ 、 $\phi 384$ 、 $\phi 280$ 用連続式選別装置とはスクリーン長が異なり、直接 u を比較すること

は困難である。そこで両者の比較が可能のようにできるだけ因子の無次元化を図ることにした。

(i) 無次元回転数 シリンダ回転数 N は各シリンダの臨界回転数 N_c で無次元化した。

$$N^* = \frac{N}{\text{臨界回転数 } N_c} \quad (2-25)$$

(ii) 無次元スクリーン長 市販の $\phi 280$ シリンダでは ℓ_s / D は 4.46 であるので、スクリーン長を $4 \times D$ で無次元化した。

$$\ell^* = \frac{\ell_s}{4 D} \quad (2-26)$$

ℓ^* が同じであればどのシリンダも相似になる。

(iii) 無次元材料断面積 w はシリンダ単位長さの滞留量である。しかし、 w が同じでもシリンダ直径が異なると、シリンダ断面積 S に占める材料の断面積 S_m の割合が異なる (図2-8)。いま、 w と材料のかさ密度 γ がわかると、次式から材料断面積 S_m がわかる。

$$\frac{w \text{ (kg/m)}}{100} = S_m \text{ (cm}^2\text{)} \times \gamma \text{ (kg/cm}^3\text{)} \quad (2-27)$$

そこで無次元材料断面積 S_m^* を次のように定義する。

$$S_m^* = \frac{\text{材料断面積 } S_m}{\text{シリンダ断面積 } S} = \frac{S_m}{(\pi/4) D^2} \quad (2-28)$$

ここに、材料のかさ密度は $\gamma = 8.4 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^3$ である。

図2-38は特定の Q における w を示したものであるが、 w は Q にほぼ比例する (図2-13、2-35) ので、 $N^* = 1.0$ における w/Q と傾斜角 θ の関係を図2-41に示した。シリンダ直径が大きいほど w/Q は小さくなっている。また、攪拌棒 3本を 6本にすると w/Q の増大は著しい。図2-42は $N^* = 1.0$ での ℓ^* と S_m^* の関係をシリンダ直径

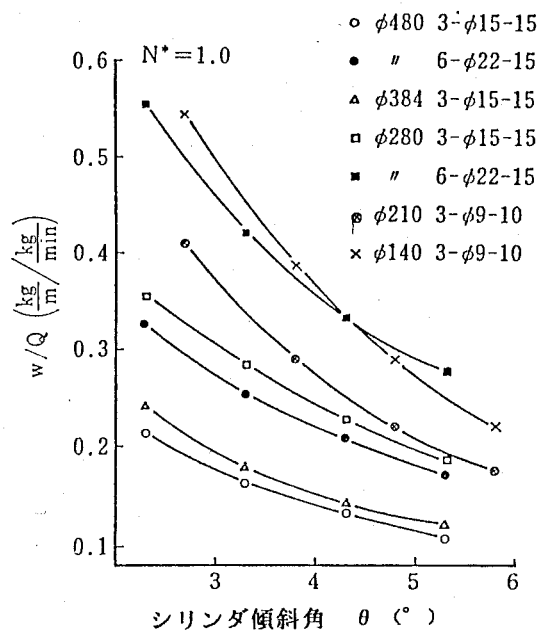


図2-41 各シリンダ直径におけるシリンダ傾斜角と w/Q の関係

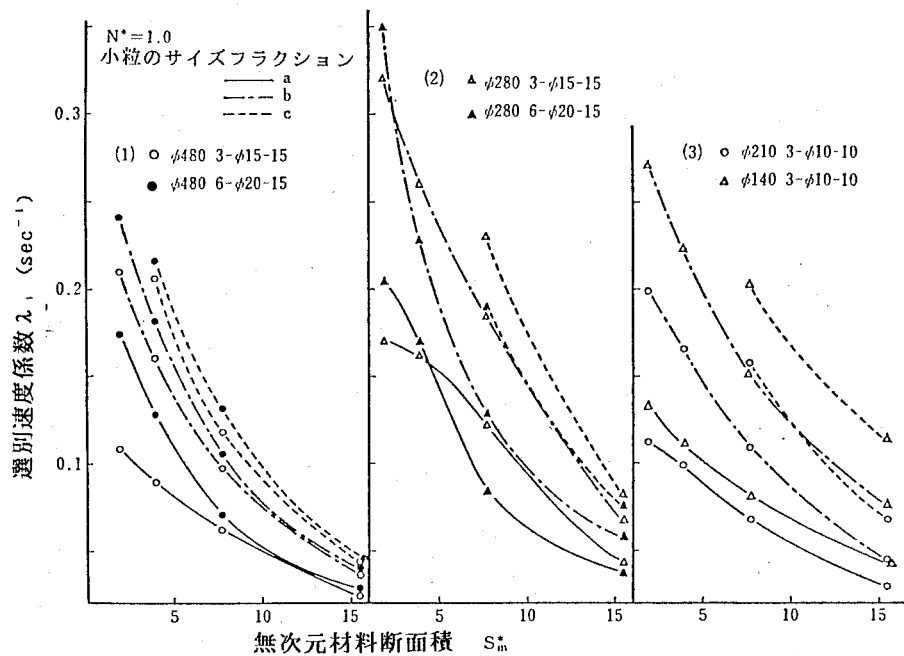


図2-42 各シリンダ直径における無次元材料断面積と選別速度係数の関係

別に示したものである。

ここで注目されるのは、(1)の $\phi 480$ シリンダでは攪拌棒を 3本から 6本にすると、 λ は向上しているのに対して、(2)の $\phi 280$ シリンダでは逆に大きく減少していることである。図2-40ではこの現象はなかったもので、これは、シリンダ回転数が 70rpm から 79.9rpm に高くなったことによるものである。 $N^* = 1.0$ では、攪拌棒を多くすることによる効果は、直径が大きいシリンダのみで期待できる。

(5) 各因子を無次元化した時のふるい分け効率

以上の考察から各直径のシリンダのふるい分け効率を材料供給量ごとに計算した (図2-43)。シリンダ回転数は $N^* = 1.0$ 、スクリーン長は $\lambda^* = 1.0$ 、シリンダ傾斜角は $\theta = 4^\circ$ に統一した。 $\lambda^* = 1.0$ にするとすべてのシリンダが相似になり、その時のふるい分け効率を E^* で表わした。計算には図2-41と図2-42を用い、材料中の小粒含有率は $P_a = 2.6\%$ 、 $P_b = 1.5\%$ 、 $P_c = 0.4\%$ とした。 $\phi 280$ 、 $\phi 480$ シリンダでは攪拌棒を (3 - $\phi 15-15$) と (6 - $\phi 20-15$) に変えた。

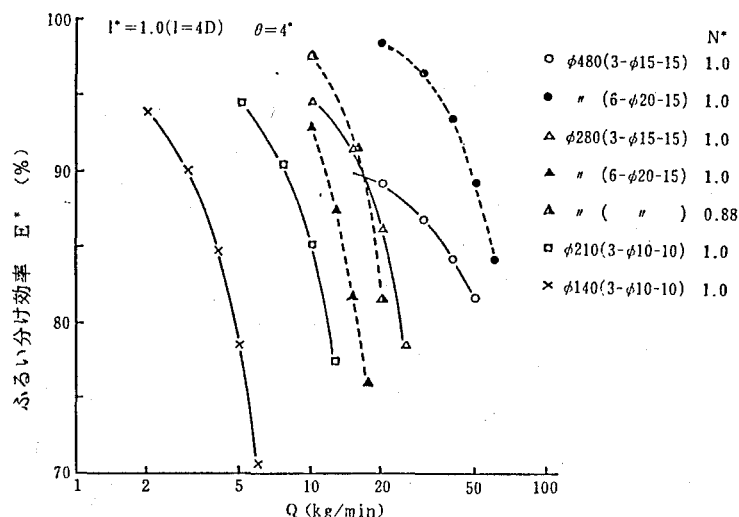


図2-43 各シリンダ直径における材料供給量とふるい分け効率の関係

φ480 シリンダでは、攪拌棒を 6本にするとQのかなり広い範囲にわたってEは大
幅に大きくなる。一方、φ280 シリンダでは 6本にするとかえってEは低くなった（
 $N^* = 1.0$ ）。そこで、 $N^* = 0.88$ （ $N=70\text{rpm}$ ）の値を併記したが、攪拌棒を 6本
にすることに伴うEの向上は、Qが小さい時にのみ見られる。

第4節 シリンダ断面形状とスクリーン面形態

現在市販のシリンダ断面形状には、円形の他に8、10、12角形などがあり、また、
スクリーン面形態には平面と波形がある。そこで、シリンダ断面形状とスクリーン面
形態の両因子が選別に及ぼす影響を調べた。

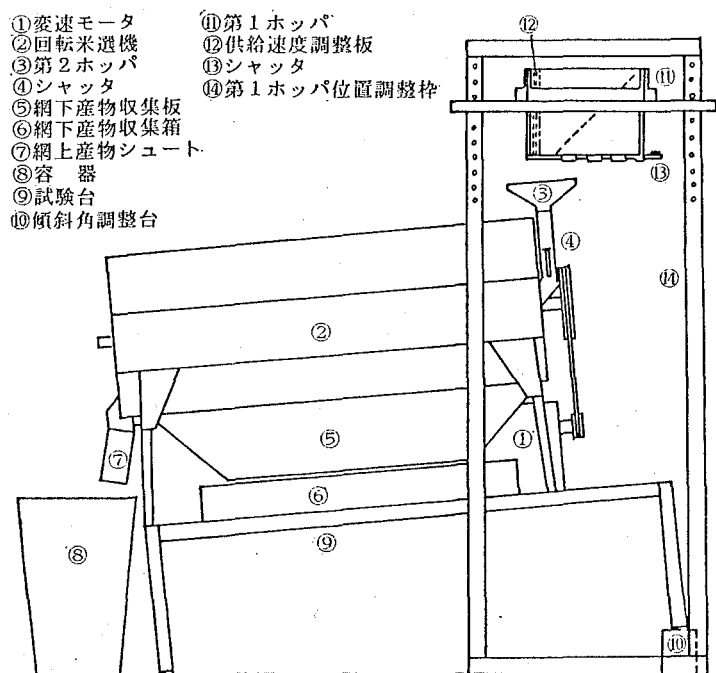


図2-44 横型回転米選機試験台

1. 実験装置および方法

(1) 実験装置

a 米選機試験台、ホッパ

各種横型米選機の試験が容易にできるように、米選機試験台およびホッパを製作した(図2-44)。すなわち、各種米選機②を、そのシリンダが試験台⑨と平行になるように固定し、シリンダの傾斜角は傾斜角調整台⑩を変えることにより設定する。また、米選機への材料の供給量を一定にするため、米選機のホッパ③のシャッタ④を開放して、その上に別のホッパ(第1ホッパ)⑪を設置した。第1ホッパは試験台と無関係にその位置、高さを調整でき、供給量はその調整板⑫の位置によって変化できる。網下産物の回収を容易にするために、米選機の下部にあるオーガを取りはずし、網下産物収集板⑤を取り付けた。本節では目づまり防止板を取り付けている。

b 供試シリンダ

シリンダ断面形状が円形と8角形、スクリーン面形態が平面と波形を組み合わせて、4種のシリンダA、B、C、D型を供試した。シリンダ直径は $\phi 280$ 前後である。これらの諸元を表2-6、2-7に示す。A、B、D型は市販のシリンダで、C型はA型と同じシートを用いて製作したものである。なお、A型は第2節で述べたように、極端に選別精度が低いため、A型に攪拌棒を3本つけたA-3型の試験を加えた。

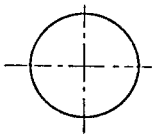
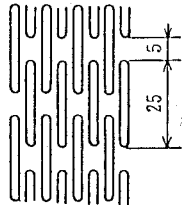
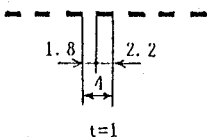
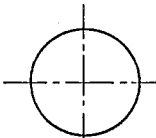
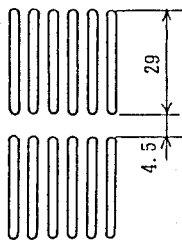
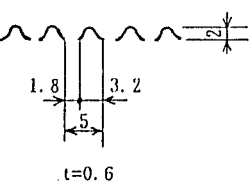
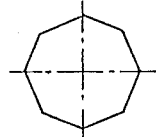
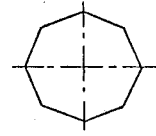
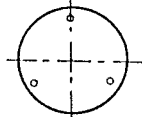
A、C型はスクリーン面形態が平面の打抜鉄板で、スリットは千鳥に配列されている。B、D型は波形の打抜鉄板で、スリットは並列になっている。スリット幅1.80mmのA、C型の空間率⁴⁶⁾は36.9%で、B、D型(27.6%)の約1.3倍である。角形のシリンダ(C、D型)の直径は、それと断面積が等しい円の相当直径で表わしており、臨界回転数も相当直径から算出した。

(2) 実験方法

a 選別性能試験

前記5種のシリンダについて、シリンダ回転数 N^* および材料供給量 Q の影響を調

表 2-6 供試スクリーン

シリンダ 記号	シリンダ断面形状	スクリーン面形態	
		スリット形状	スクリーン断面
A			
B			
C		(Aと同じ)	
D		(Bと同じ)	
A-3		(Aと同じ)	

べる試験を行った。実験ごとの材料の小粒含有率 y_F の偏りを防ぐために、初摺機から出た玄米をB型米選機 ($\theta = 4^\circ$ 、 $N^* = 1.0$ 、 $Q = 10\text{kg}/\text{min}$ 、スリット幅1.80 mm) にかけて、その網下産物と網上産物を一定の割合で混合して用いた。 N^* を0.9 ~ 1.2 に変える時、材料を攪拌、混合し 4回反復使用した。

b 選別精度の指標

表 2-7 供試シリンダの諸元

シリンダ 記号	シ リ ン ダ					ス ク リ ー ン	
	直 径 (mm)	断面積 (cm ²)	滞留長 (mm)	スクリーン長さ (mm)	臨界回転数 N _c (rpm)	スリット幅 (mm)	空間率 (%)
A	φ 280	616	1300	1250	79.9	1.80	36.9
B	288	651	1316	1277	78.7	1.80	27.6
C	280	616	1320	1218	79.9	1.80	36.9
D	278	607	1320	1284	80.2	1.80	27.6
A-3'	Aと同じ						

* 攪拌棒の条件 : n=3、d=φ15、δ=15mm

当初、選別精度の指標として u 、 u_s 、 y_0 を使用し、後に E_a^* を追加した。 u は第2節と同じである (式(2-11))。

各試験とも材料の供給時間は 1 分間であるが、供給開始後 20 秒から 20 秒間の網下産物を分けて回収し u_s を求めた。すなわち、 u_s は定常状態時のふるい分け効率を表わす。

$$u_s = \frac{\text{20秒間の網下産物質量}}{\text{20秒間の供給材料中のスリット幅以下の推定小粒質量}} \quad (2-29)$$

網上産物中の小粒含有率 y_0 は、供給開始後約 30 秒の時の網上産物から 500g サンプルングしてテストグレーダ (5 分) にかけて算出した。

λ_a はサイズフラクション a (1.6~1.8 mm) の選別速度係数である。選別速度係数はこれまで回分式選別装置で求めたが、本節では連続式選別装置で求めた。方法は、まず、供給材料と選別後の網上産物をロータップシェーカーにかけ粒径分析し、サイズフラクション a の網上残留率 R_a を算出する。つぎに、選別試験と同時に滞留量測定を行い、選別時間 t を算出し、式(2-20)から λ_a を求める。

E_a^* は、シリンダ長さがシリンダ直径の 4 倍の時のサイズフラクション a のふるい分け効率の計算値である。上記 λ_a を使用し、式(2-23)で求める。

2. 実験結果および考察

(1) 選別性能試験

A, B, C, D, A-3型シリンダの選別精度に及ぼすシリンダ回転数 N^* の影響を調べたのが、図2-45である。条件は $\theta = 4^\circ$ 、 $Q = 15 \text{ kg/min}$ である。材料の供給後しばらくすると、シリンダ上の材料の滞留状態が一定（定常状態）に達する。また、供給が停止すると滞留量 w が徐々に少なくなる。このように定常状態の前後には w が小さい非定常状態時が存在する。したがって、供給材料量 F が少ないと全選別時間に占める定常状態時間の割合が小さくなるので、本実験では材料供給時間が1分になるようにした。 u_s は定常状態時の値であり、 u より望ましい。しかし、反面 u_s は供給材料の1部分にもとづく値であり、しかも、材料を反復使用する時に攪拌混合から生ずる材料中の小粒の偏りの影響を受ける。

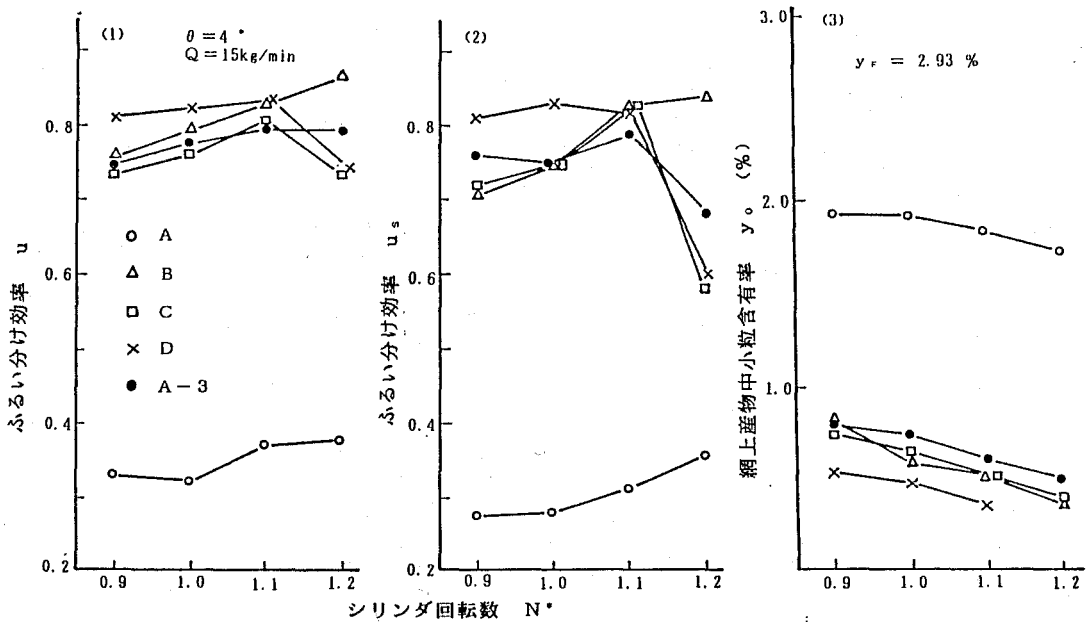


図2-45 シリンダ回転数がふるい分け効率 u 、 u_s 、網上産物中小粒含有率 y に及ぼす影響

N^* が0.9 から1.1 まで上昇すると、 u 、 u_s はどのシリンダでも大体上昇している。 u と u_s を比較すると大きな差はみられなかったが、 u_s の方が値のばらつきが若干大きい。(3)の網上産物中小粒含有率 y_o は、シリンダの選別精度を直接表わすもので、選別作業上最も関心の大きい値である。

図2-46(1)(2)は材料供給量 Q が u_s 、 y_o に及ぼす影響を示している。図2-45と総合してみると、最も選別の良いのはB、D型であり、つぎにC、A-3型で、A型は悪い。図2-46(3) はサイズフラクション a の選別速度係数 λ_a である。連続式選別装置による選別速度係数の測定では、スクリーン長が大きいのでサイズフラクション b、

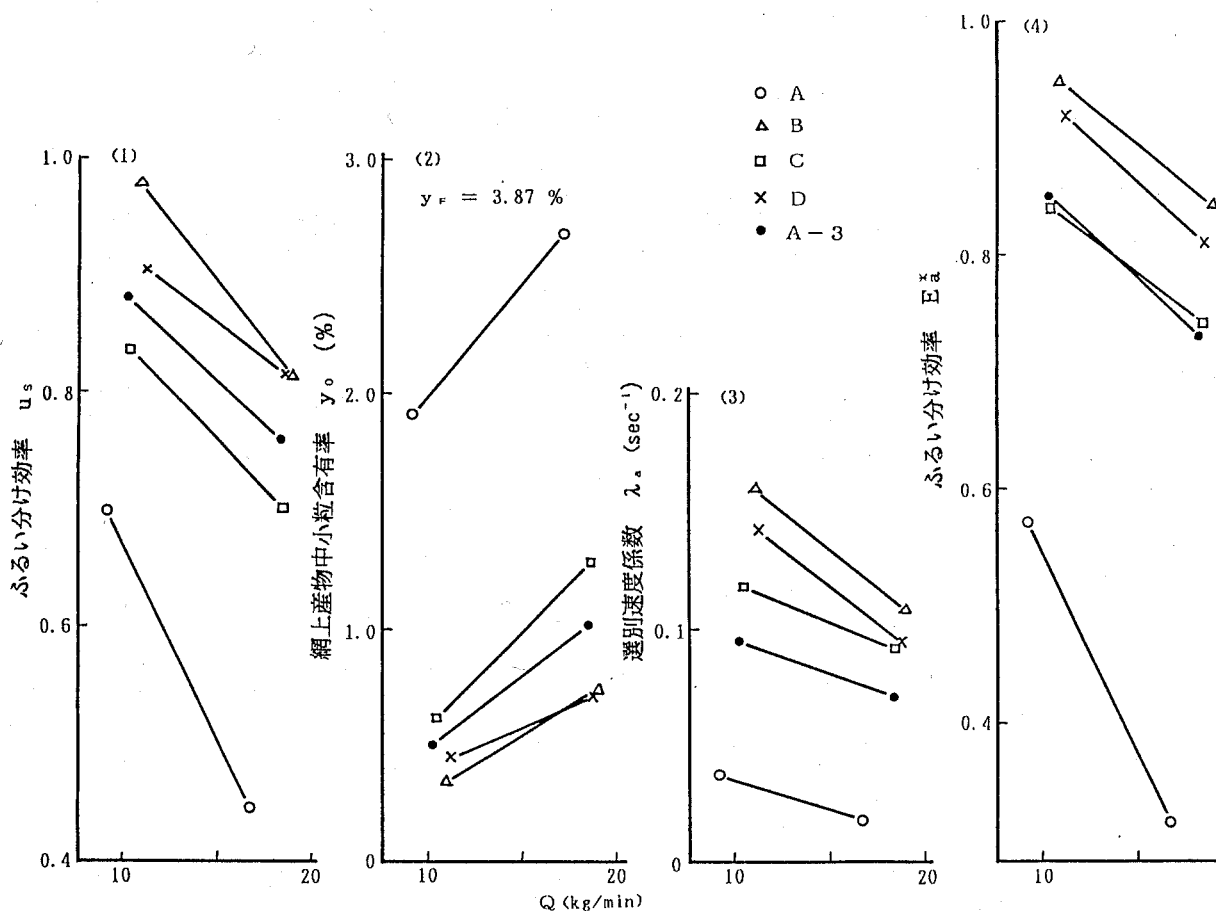


図2-46 材料供給量がふるい分け効率 u_s 、 E_a^x 、網上産物中小粒含有率、選別速度係数に及ぼす影響

c がほとんど選別されてしまい、 λ_a 、 λ_c の誤差が大きくなる。後述のように（第 IV 章）スリット幅が同じ条件では $\lambda_a : \lambda_b : \lambda_c$ がほぼ一定になるので、選別条件の良否は λ_c の値のみで比較できる。(4) の E_a は、シリンダ長がシリンダ直径の 4 倍の時のふるい分け効率であり、これはシリンダ直径が異なる時、相似なシリンダを比較していることになる。

ここで、B 型シリンダの負荷時の回転低下が予想された（これは市販機を用いたためであり、いうまでもなく、B 型に由来するものではない。）ので、回転低下率を測定した。シリンダの駆動には、0.75kW の無段変速モータを使用した。結果は A、D、A-3 型シリンダでの回転低下率は 2% 以下であるが、B 型は 5~9 % と極めて大きかった。それは、前者がシリンダを直接駆動する方式であるのに対して、後者はシリンダを 2 個のゴムローラで支え、その一方を駆動する方式をとっているためである。したがって、連続式選別装置による測定では、無負荷時の回転数を基準にしているため、B 型では負荷時にほかより $N^* = 0.05$ だけ多く低下していることを考慮しておく必要がある。

(2) シリンダ単位長さ当たりの滞留量 w

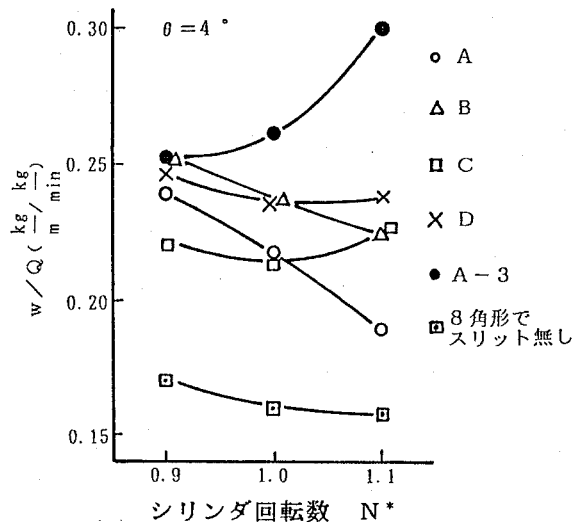


図 2-47 w/Q とシリンダ回転数 N^* の関係

各シリンダの w を測定した。 N^* と w/Q の関係を図2-47に示す。まず、円形シリンダについてみると、A型（平面）は N^* の増大に伴い w/Q が急激に減少する。これは材料の移送速度が増すためである。それに対して、B型（波形）の w/Q の減少割合は小さく、値は前者より大きい。これは、B型スクリーンの内部には軸と直角方向に細かい凹凸があり、それが材料の流下に対して抵抗を示すためである。A-3型は $N^* = 0.9 \sim 1.1$ で急激に上昇し、値も大きい。これは攪拌棒が材料をスクリーンに沿って持ち上げるため、流下に対する抵抗は波形よりさらに大きくなる。一般的に流下に対する抵抗が大きいほど、低い N^* で w/Q が減少から増大に転ずる。8角形シリンダにおいても、平面と波形の関係は上と同様のことがいえる。図中□印はスリットのない平板で、C型と同じシリンダを製作して測定したものである。 w/Q の値はC、A型よりも小さくなった。これにより、スリットは平面であっても穀粒の流下にはかなりの抵抗を有することがわかる。AとC型およびBとD型を比較すると、8角形が円形より低い N^* （ $N^* = 1.0$ ）で w/Q が増大に転じている。角形のかどの部分は、材料をスクリーンに沿って持ち上げ、攪拌棒と類似の作用をしていると想像される。

(3) 選別速度係数 λ

回分式選別装置により、各シリンダの選別速度係数 λ を測定した。使用したシリンダは表2-7に示すように、その断面積には約7%の差がある。そこで、その差による影響をなくすために材料断面積 S_m^* と λ の関係を示した（図2-48）。結果は、円形ではB型がA型より λ は高く、8角形では、D型がC型より高くなっている。これは、シリンダ断面形状にかかわらず平面より波形が選別がよいことを示している。さらに、A型、B型よりC型、D型が高い値を示すことから、円形より8角形が選別が良い。したがって、8角形でかつ波形のD型がその相乗効果のために、 $S_m^* = 0.05$ から0.15のすべての範囲において λ が最も高い。ついで円形で波形（B型）、8角形で平面（C型）、攪拌棒を有する円形、平面（A-3型）がほぼ等しい値を示し、

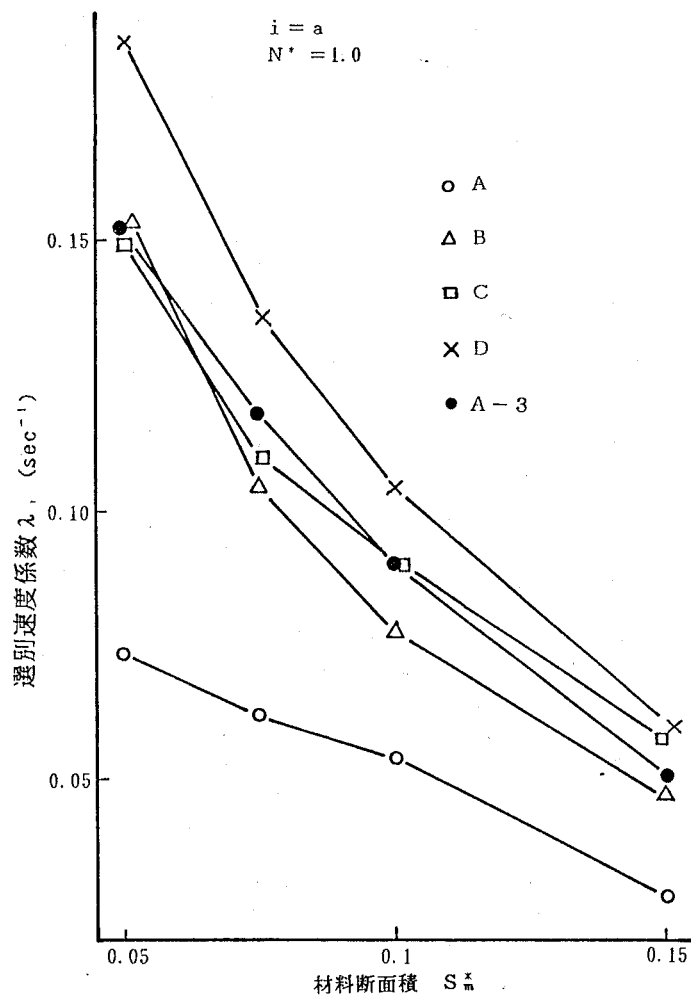


図2-48 選別速度係数と材料断面積の関係

A型は低い。

図2-49は角形の角数を6~12と変え、円形と比較したものである。スクリーン面形態は平面であるので、8角形はC型、円形はA型である。 λ は円形で小さく、6角形で大きい値を示した。

(4) 各シリンダの攪拌作用比較試験

回分式選別装置を使用して、各シリンダの攪拌作用の大きさを検討した。方法は、

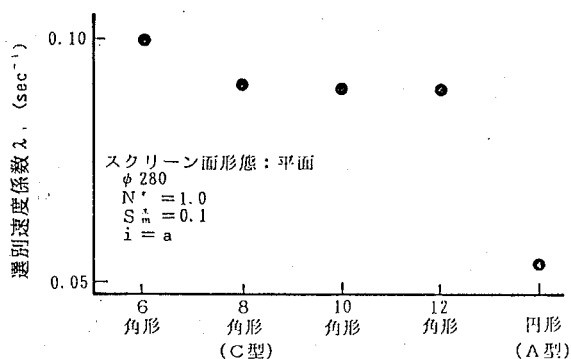


図2-49 シリンダ断面形状（6～12角形、円形）が選別速度係数に及ぼす影響

最初シリンダ（スリット幅1.80mm）内に図2-50のように、大粒（ $>2.00\text{mm}$ ）の中央に小粒（1.4～1.6mm）を入れる。シリンダが回転しはじめると材料の攪拌が生じ、攪

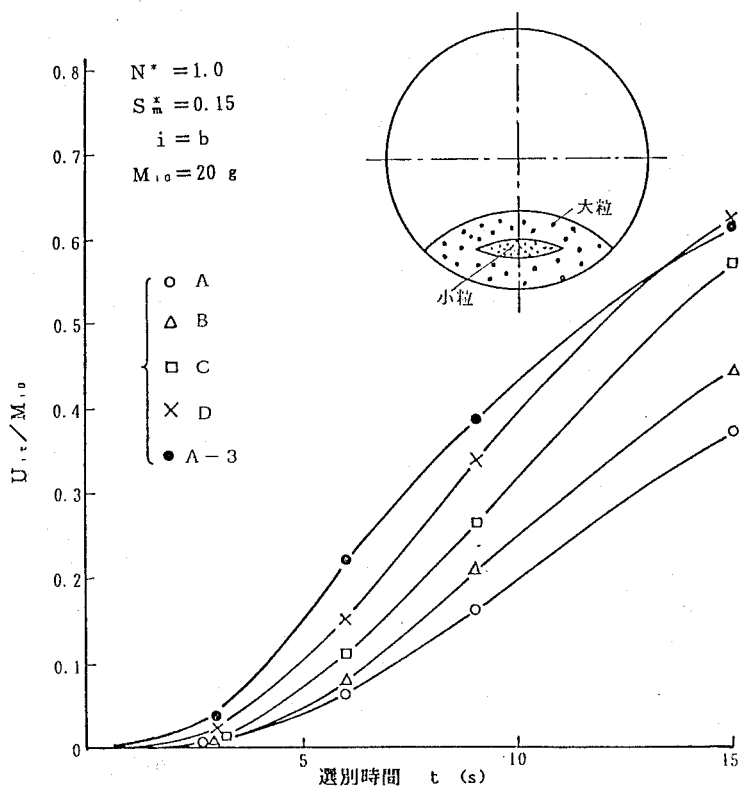


図2-50 小粒を材料の中央に供給した場合の $U_{1,t}/M_{1,0}$ の経時変化

拌作用の大きいシリンダほど早く小粒がスクリーンに到達し、そこで選別作用を受け、網下に出る。小粒の網下移行率 U_{it}/M_{i0} (M_{i0} : サイズフラクション i の初期質量、 U_{it} : サイズフラクション i の t 秒後の網下産物質量) の経時変化を図2-50に示す。このような測定方法では、 U_{it}/M_{i0} は攪拌作用と選別作用が複合されたものを示すことになるが、いかに選別作用が大きくても、小粒がスクリーン上に存在しなければ選別は行われないうこと、また、小粒のサイズフラクション b (1.4 ~ 1.6mm) は各シリンダのスリット幅 1.80 mm より幾分小さく、スクリーンに小粒が到達すると比較的速やかに選別されると考えられることから、選別時間 t が比較的小さい時の U_{it}/M_{i0} の順位が攪拌作用の順位を表していると考えられる。その結果、A型、B型 (共に円形)、C型、D型 (共に 8角形)、A-3型となるに従い、値が大きくなっている。すなわち 8角形は円形より攪拌作用が大きく、攪拌棒は 8角形よりさらに大きい。また、同じ円形、8角形であっても、スクリーン面形態が平面より波形の方が攪拌がよい。また、選別時間が大きくなるとともにD型よりA-3型が低くなっているのは、A-3型は攪拌作用が大きい、選別作用が劣るためである。

第5節 スリット幅、目づまり

1. スリット幅

横川⁹¹⁾ は「厚さ 1.8mm 以下の粒はほとんど死米と未熟粒で、これらはとう精してもぬかとなるか、精米であっても正常なものは期待できない。それゆえ良質精米を得るにはとう精前にこれらを除去することが必要である。一方、1.9mm 以上の大部分は整粒であり、1.8 ~ 1.9mm の粒は整粒と未熟粒が交錯する」と述べている。

近年、玄米の整粒歩合の向上を目的としてスリット幅の大きなシリンダを使うようになってきた。スリット幅を大きくすると整粒歩合は高くなり 1等米になりやすい。しかし、一方では網下産物が多くなり、その分上玄米は少なくなる。そこでスリット幅が選別に及ぼす影響について検討した。

(1) 実験方法

B型シリンダでスリット幅を 1.80、1.85、1.90、2.00mm に変え、選別性能試験を行った。値はすべて 2 回の測定の前平均である。供試材料の粒径分析は、ロータップシェーカによって行い、その結果を正規確率紙を使用して示した (図2-51)。同図から

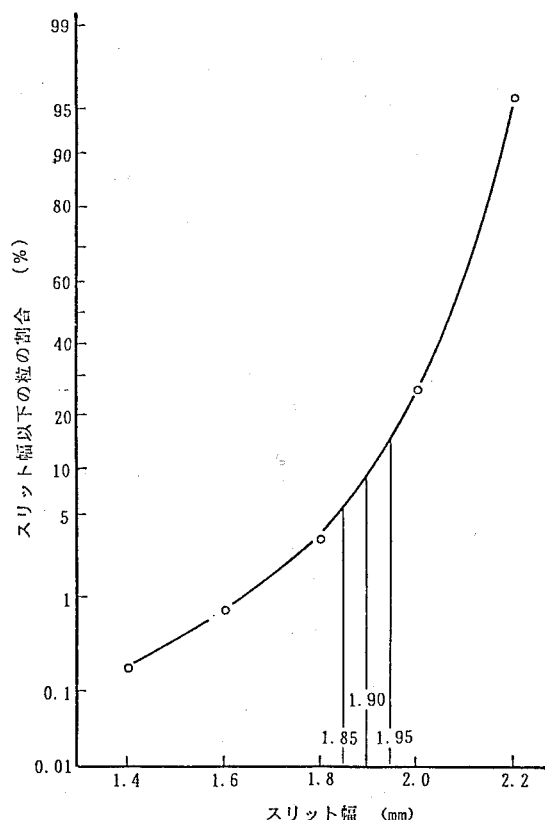


表 2-8

供試シリンダのスリット幅測定
(単位 mm)

シリンダ呼称	実測値 (平均)	標準偏差
1.80	1.85	0.013
1.85	1.875	0.011
1.90	1.91	0.012
2.00	2.00	0.010

B 型シリンダ
測定箇所はシリンダの前部 20 点、後部 20 点、計 40 点

図2-51 供給材料 (ロータップシェーカによる粒径分析)

1.85、1.90、1.95mm 以下の小粒の含有率を読み取りふるい分け効率 u を算出した。

(2) 実験結果

a スリット幅の実測

供試シリンダのスリット幅をダイヤルノギスで実測した。その結果を表2-8 に示す。スリット幅が小さいシリンダほど、呼称よりスリット幅が大きかった。標準偏差は、

いずれのシリンダでも0.010 から0.013mm の範囲にあった。

b スリット幅が選別精度に及ぼす影響

(i) ふるい分け効率 u_s 、網上産物中小粒含有率 $y(1.80)_0$ 。

ふるい分け効率 u_s は供給材料中の小粒（供試シリンダのスリット幅以下のもの）量に対する網下産物量の比であり（図2-52(1)）、下に凸の曲線が得られた。つぎに、各スリット幅のシリンダの網上産物中の小粒（1.80mm 以下）含有率を $y(1.80)_0$ で表した。スリット幅が大きくなると $y(1.80)_0$ は急激に低下する。

(ii) 選別速度係数 λ_a 、ふるい分け効率 E_a^*

サイズフラクション a についての λ_a 、 E_a^* は、スリット幅が大きくなると高い値を示す（図2-52(2)）。

B 型シリンダ

$N^* = 1.0$ $\theta = 4^\circ$ $Q = 15\text{kg/min}$ $y_F = 3.27\%$

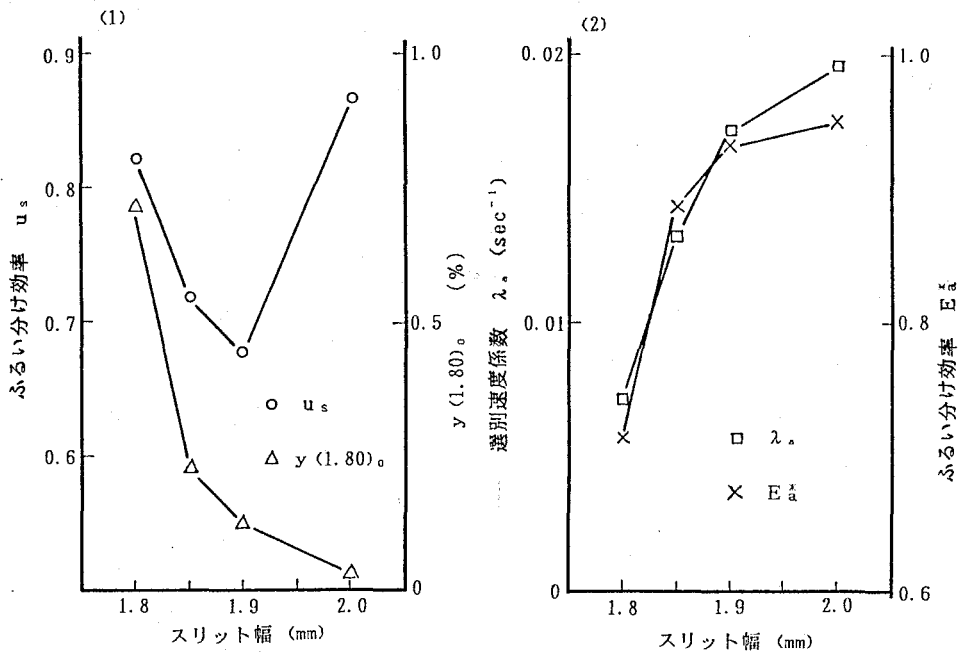


図2-52 スリット幅が選別精度に及ぼす影響

c. 損失について

定常状態時に一定時間内に排出された網上産物量 (O) と網下産物量 (U) から網下移行率を算出した (図2-53)。

$$\text{網下移行率} = U / (O + U) \quad (2-30)$$

また、網下産物中大粒 (1.80mm以上) 含有率 $x(1.80)_u$ を同図に示す。スリット幅 2.0 mm のシリンダの網下産物では、大部分が 1.80mm 以上のものである。つぎに、網下産物中の 1.80mm 以上の粒 (損失米) の全材料に対する割合を算出した。

$$\begin{aligned} \text{大粒 (1.80mm以上) 損失率} &= U \cdot x(1.80)_u / F \\ &= (\text{網下移行率}) \cdot x(1.80)_u \end{aligned} \quad (2-31)$$

大粒損失率は供試材料の粒径分布によって幾分異なるが、本試験ではスリット幅 2.00mmで20%に達した。

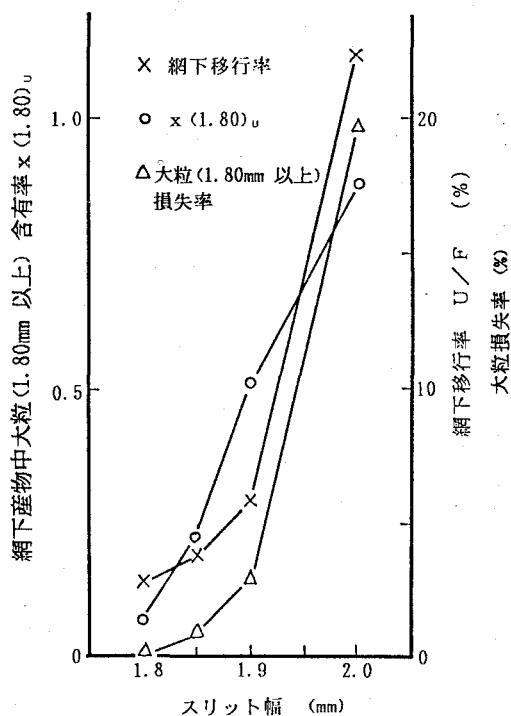


図2-53 スリット幅が $x(1.80)_u$ 、大粒損失率に及ぼす影響

2. 目づまり

(1) 目的

一般に、網やすきま⁶⁾などで粒体を選別する場合、必ず目づまりが生ずる。もし、目づまり防止対策をしないで選別を継続すると、目づまりは徐々に増加し選別精度は低下し、やがて選別不能となる。したがって、振動ふるいなどの平面ふるいでは、網に衝撃を与えて目づまりを防止している。また、回転米選機などの回転スクリーンでは、弾力のあるビニール板や目づまり除去ローラ^{6,5)}をスクリーン外部に押しあてることにより、目づまり粒をスクリーンの中に押し戻し、防止している。

しかし、この目づまり防止法は振動、音（特に角形シリンダで高い）および目づまり防止板の耐久性などの問題があり、もし、可能なら自浄作用の付与（例えば縦型回転粗選機^{3,9)}に使用されている自転公転機構など）、または、より良い目づまり防止法の開発が望まれる。そのための基礎として、回転米選機の各因子が目づまりに及ぼす影響を検討した。

(2) 実験方法

a 連続式選別

連続式選別装置による目づまり量の測定では、目づまり防止板を取り付けずに一定量(30kg)の材料を供給、選別し、その後スクリーンに板を押しあてて目づまり粒を回収する。材料には粳すり機の1番口から出た玄米を用い、2品種（ササニシキとキヨニシキ）を用いた。

b 回分式選別

回分式選別装置による目づまり量の測定の手順は次の通りである。

- ① 大粒と小粒を一定割合に混合し（小粒含有率 3%、4kg/m 以上では 1.5%）短シリンダに供給する。大粒は連続式選別装置（スリット幅2.00mm）を2回通した網上産物であり、小粒はロータップシェーカーで選別調整した。小粒のサイズフラクション a、b、c の寸法は前述の通りであり、d は 1.8~2.0 mm である。

- ② 選別時間は供給小粒の約50%が網下産物として選別される時間とした。
- ③ 選別後、短シリンダを軸から取りはずし、供給口を下にし、重力のみで網上産物を取り出す。その後、スクリーンに付いて残っている粒をスクリーンに板を押しあて回収し、それを目づまり粒とみなした。

なお、目づまり率を次のように決めた。

$$\text{目づまり率 (\%)} = \frac{\text{目づまり質量}}{\text{供給小粒質量}} \times 100 \quad (2-31)$$

回分式選別に使った品種はササニシキである。

(3) 結果および考察

a 連続式選別装置による目づまり量測定

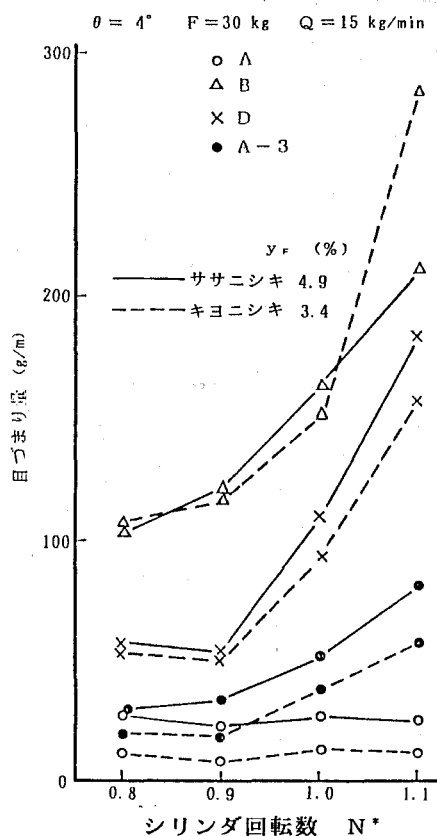


図2-54 連続式選別装置による目づまり量測定

A、B、D、A-3型のシリンダを供試し、 N^* を0.8 ~1.1 に変え目づまり量を測定し、シリンダ単位長さ当たりの量で表わした（図2-54）。目づまり量は N^* が大きくなるほど、また、シリンダ型式としてはA、A-3、D、B型の順に次第に多くなった。これは選別精度とほぼ同じ傾向を示している。すなわち、選別の良い条件ではスリットを通過する小粒の量が多く、その時、スリットに対する粒の姿勢によって、たまたまスリットに拘束されてしまう量も多くなる。供試した 2品種を比べるとササニシキの目づまりが少し多いが、これは材料中の小粒含有率 y_F が少し高いためである。図2-55は反復選別による目づまり量の変化を示している。方法は①シリンダに材料(30kg)を供給、選別し、網下産物と目づまりを回収する。②その網上産物を再度シリンダに供給して同じ操作をし、それを 5回繰り返す。これは換言すれば、長さが $5\ell_s$ (ℓ_s はスクリーン長、約 1.25m) のシリンダに材料を流した時の入口からの距離が、 $(n-1)\ell_s$ から $n\ell_s$ までのスクリーンの平均目づまり量(g/m) を表わして

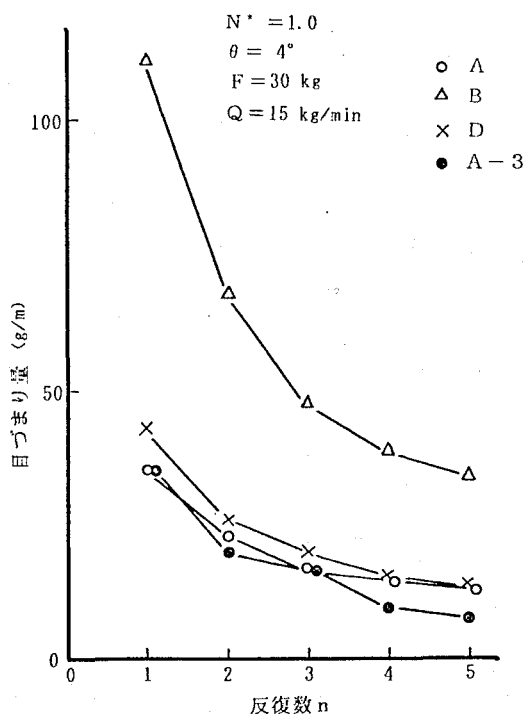


図2-55 反復選別による目づまり量の変化

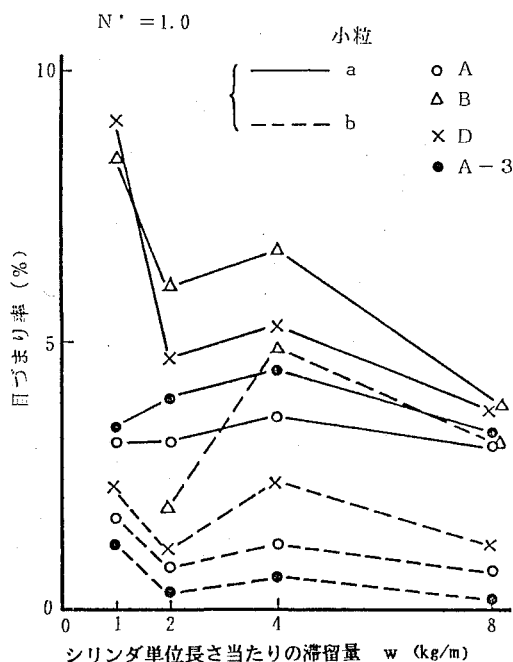


図2-56 回分式選別装置による目づまり量の測定

いる（ n は反復数）。目づまり量はシリンダ長が長くなると減少する。これは選別、目づまりの進行に伴って、目づまりとなりうる材料が減少していることによる。

b 回分式選別装置による目づまり量の測定

回分式選別装置を用いて、シリンダ型式、滞留量、小粒のサイズフラクションを変えて目づまり量を測定した（図2-56）。小粒aでは w の増大によって目づまり率が減少し、これは選別精度と同じ傾向である。一方、小粒bではaに比べて目づまりはかなり少なく上の傾向はない。

以上の図2-54から図2-56によれば、B型シリンダの目づまりがD型よりかなり多い。選別については両シリンダの間にそれほど差がなかったにもかかわらず、目づまりで差がでた理由は今のところ不明である。（なお、スリット幅はB型・・・ 1.79 ± 0.02 mm、D型・・・ 1.77 ± 0.02 mmである。）

つぎに、D型シリンダを用いて目づまりの時間的变化を調べた（図2-57）。目づま

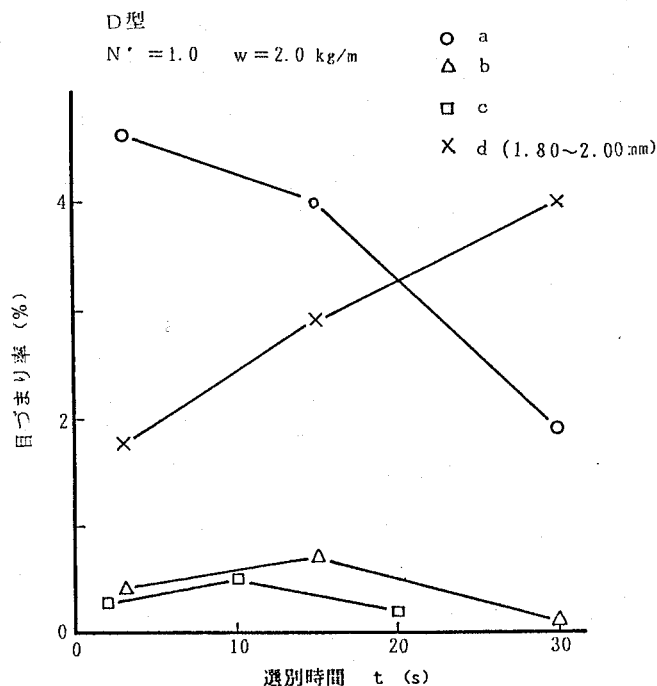


図2-57 目づまりの経時変化

り粒にはスリット幅より厚い粒も含まれていることから、小粒としてサイズフラクション a、b、c、d を用いた。結果は、時間の経過に伴い小粒 a の目づまりは減少した。これはいったんスリットに拘束された粒の一部が、その後シリンダ中の材料の影響を受けて姿勢が変化し選別されたためである。b、c はもともと値は低くさらに減少する。一方、スリット幅より大きい d は選別されないため、目づまりが追加され時間とともに増大する。

以上で、小粒 a は b、c に比べてかなり目づまりし易いことがわかった。すなわち、スリット幅に近い厚さの小粒（難過粒子⁴⁶⁾）が目づまりし易い。そこで、テストグレーダを使用してスリット幅に近い小粒（1.70～1.75、1.75～1.80mm）を準備し選別し、目づまり量を測定した。その厚さの実測値はそれぞれ 1.67 ± 0.03 、 1.75 ± 0.04 mm であり、供試シリンダ B、D 型のスリット幅は 1.79 ± 0.02 、 1.77 ± 0.02 mm であった。

$$\text{相対サイズ}^{15)} \frac{x}{\alpha} = \frac{\text{小粒粒厚 } x}{\text{スリット幅 } \alpha} \quad (2-32)$$

相対サイズと目づまりの関係を図2-58に示す。相対サイズの増大とともに、目づまり率は急激に大きくなった。

$N' = 1.0$ $w = 2.0 \text{ kg/m}$

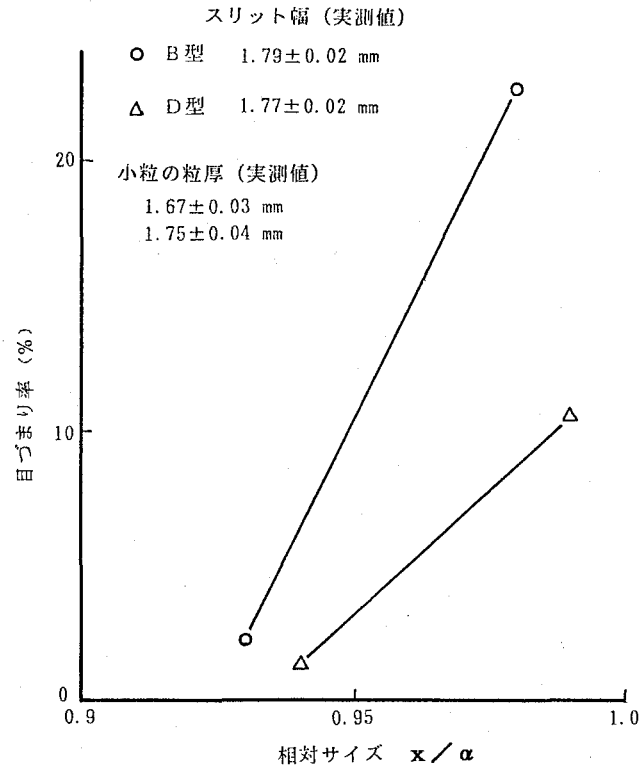


図 2-58 難通粒子の目づまり率

第Ⅲ章 縦型回転米選機の選別因子と選別性能

第1節 はじめに

回転する円筒形スクリーンを鉛直にして使用する縦型の選別機⁶⁵⁾は、最初アメリカで開発され、その後ソ連、デンマークなどでも研究された。Park⁶⁴⁾は直径8インチ、回転数300rpmのシリンダに上からきょう雑物のある小麦を供給し選別した。遠心加速度は11Gと高いため、粒はスクリーン内面に圧着するのでスクリーンを軸方向に振動し、粒を下方に移送している。さらに、シリンダの中にオーガを設けたタイプについても述べている。

我が国の回転米選機は、当初横型が開発されたが、近年、シリンダが鉛直の縦型が開発された。これは、円筒形スクリーンとその中にあるらせん筒から成り、下方に供給された材料をらせんにより上昇させ、スクリーンで選別するものである。これは横型に比して、(1)スクリーン全面で選別されるのでシリンダを短くすることができる。(2)機体の占有面積が小さい。(3)横型は上玄米の排出口が低いのに対し、縦型は上方から排出されるので、袋詰め、計量のための昇降機が不用である、などの特長を有するので、今後の普及が期待される。そこで、開発間もない縦型回転米選機（以後縦型米選機と略称する）の選別に及ぼす各因子の影響について検討した。

第2節 実験装置および方法

1. 実験装置

縦型米選機の実験装置を図3-1に示す。その主要部は、スクリーンを有するシリンダ⑩と、その内部にあるらせん筒②である。第1ホッパ④に供給された材料は、第2

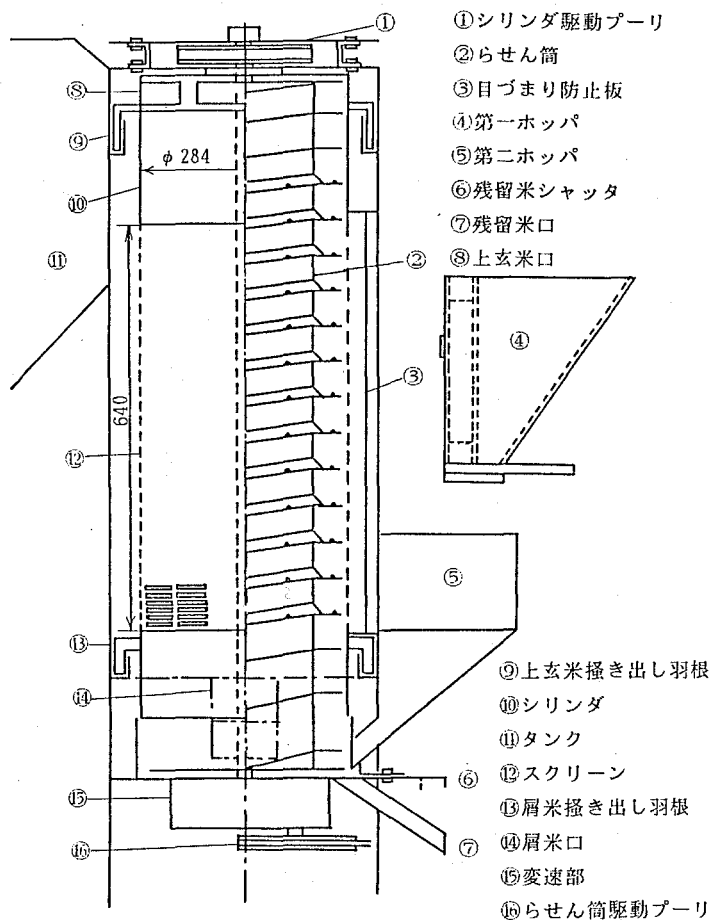


図3-1 縦型米選機主要部

ホッパ⑤を通り、らせん筒の下部に達し、回転しているらせんによって掻き上げられ上方へ移動する。その過程で、外側にあるスクリーン⑫により選別作用を受け、スリットを通り抜けた屑米（網下産物）は屑米口⑭から排出される。一方、スリットを通らなかった上玄米（網上産物）はシリンダ上方の上玄米口⑧から排出され、タンク⑪に回収される。

市販の縦型米選機では、らせん筒とシリンダは逆方向に回転するようになっており、1つのモータで両者を駆動している。本実験では、らせん筒に対するシリンダの回転

方向の違いによる影響も調べるために、シリンダをらせん筒に対して同方向と逆方向に回転できるように改造した。すなわち、らせん筒はプーリ⑩を介して無段変速モータ (1.5 kW) によって駆動し、シリンダは回転方向切換盤およびプーリ①を介して無段変速モータ (0.4kW) によって駆動する。材料の供給量は第 2ホップのシャッタを開放にしておき、第1 ホップの調節板で開度を変えて調節する。

2. 実験装置各部

(1) シリンダ

シリンダは、屑米を選別するスクリーンを有する円筒である。スクリーンは厚さ 0.6mm の軟鋼板製で、長さ30mm、幅 1.80mm の長円形スリットを有する。スクリーン面形態は横型米選機の波形と同じである（横型でのB型）。スクリーンの外径は $\phi 280$ 、長さは640 mmである。シリンダの下部外側には、屑米掻き出し羽根③が 2枚付いており、これはスリットを通り抜け下の溝に溜った屑米を掻き出すものである。また、同じくシリンダ上部外側には、上玄米掻き出し羽根⑨が 4枚ある。

(2) らせん筒

らせん筒は外部にらせんを有し、材料を上方に移送させるためのものである。らせん筒には、図3-2 の 3種 (H_A 、 H_B 、 H_C) を使用した。らせん筒直径は $\phi 264 \sim 268$ で、シリンダ内面とのクリアランスは 6~8mm であり、らせん部長さは 940mmである（らせん筒下部から上玄米口までは910mm）。らせん筒 H_A は、らせん上面が水平と角度 α (40°) をなしており、らせん上面には材料に摩擦を与えるためにゴムを貼ってある。らせんピッチは50mmである。 H_B はらせんピッチが35mmと異なるだけで、 H_A とほぼ同じである。 H_C は改良型であり、らせんは軟鋼板から成り、 $\alpha=0$ でらせんピッチは50mmである。ゴム板は使用しないで、らせん板上に小さな丸い凸部（直径8mm、高さ2.5mm、1周につき6個）を付けている。したがって、 H_C は H_A に比べて加工し易くなっている。さらに、 H_A 、 H_B は材料供給量が約30kg/min以上にな

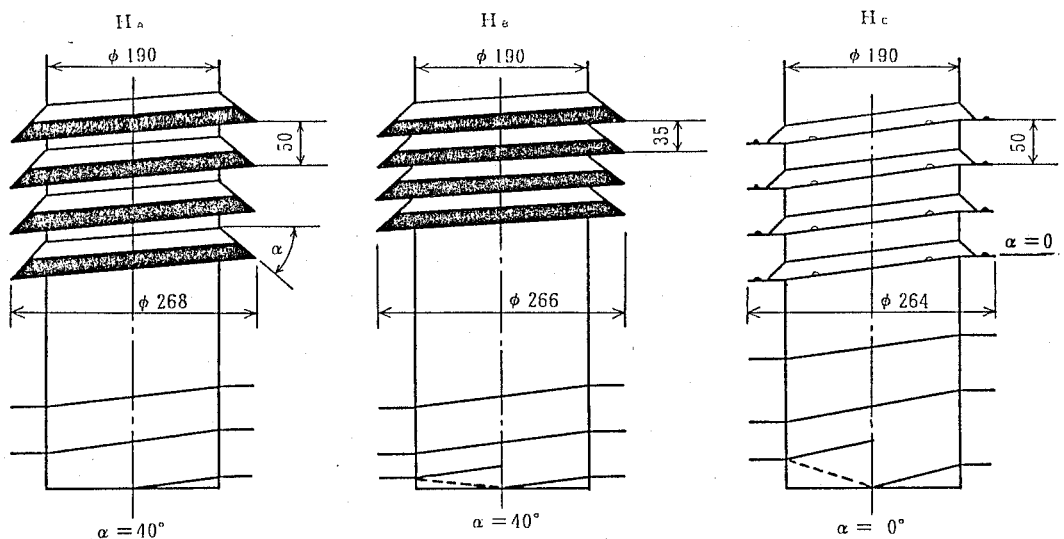


図 3-2 らせん筒（黒色部分はゴム貼り）

ると、材料の掻き上げ作用が十分でなく作業が困難であった。その原因として、シリンドラ下部の掻き上げらせんのピッチが小さすぎることが判明したので、H。ではそのピッチが大きくなっている。

(3) 残留米口

縦型米選機では、ホップの材料がなくなった時やシャッタにより材料の供給を止めた時、その後の上玄米排出によってシリンドラとらせん筒の間の材料が少なくなると、材料の搬送ができなくなり、機内に材料が残る。この残留米は図3-1のシャッタ⑥を開くことにより残留米口⑦から回収される。

(4) 目づまり防止板

スリットの見づまりは、弾力性のあるビニール製の板をスクリーンに押しあてることにより防止している（図3-1の③）。シリンドラの回転方向に合わせて、向きの違う目づまり防止板を使用した。

3. 実験方法

(1) 選別性能試験

選別性能に大きく影響すると思われる、シリンダ回転数 N 、らせん筒回転数 N_H 、材料供給量 Q を変えて選別性能試験を行った。シリンダの回転数は ± 100 、 ± 75 、 ± 50 、 ± 25 rpmの 8段階で、符号(+)はシリンダ回転方向がらせん筒と同方向を、(-)は逆方向を表わしている。シリンダ回転数0rpm、すなわち、シリンダが静止している時は目づまり防止板、上玄米掻き出し羽根、屑米掻き出し羽根がすべて作用しないため実験を省いた。

実験手順は次の通りである。

- ① 粉すり機の 1番口から出た玄米 450kgを 1ロットとし、均一に攪拌し、供給材料とする。供給材料の粒径分布をロータップシェーカ(1点 50g、5分)で、小粒含有率 y_F をテストグレーダ(1点500g、5分)で調べておく。1 回の実験の供給材料量 F (kg)は供給時間が 1分以上になるように決める。
- ② 供給開始後、上玄米排出開始までの時間 t_0 (s)を測定する。
- ③ 材料の流れが定常状態に達した時から t_1 (s)間、網上産物、網下産物を回収し測定する(O_1 (kg)、 U_1 (kg))。
- ④ その後、第2 ホッパのシャッタを閉じると同時に上玄米口、屑米口に容器をあて排出される網上産物、網下産物を全量回収する(O_2 (kg)、 U_2 (kg))。
- ⑤ 上玄米の排出が終了した時点で、残留米シャッタを開き、らせん回転数を落とし、機内に溜っている残留米をすべて回収する(R (kg))。
- ⑥ 網上産物の粒径分布、小粒含有率 y_o を測定する。これで 1回の実験が終了する。
- ⑦ 1 度選別した材料を再度使用する時は、材料をすべて横型回転米選機(D型、スリット幅1.80mm、 $N^* = 1.0$ 、 $\theta = 4^\circ$ 、 $Q = 10\text{kg/min}$)で選別し、その網上産物と網下産物を一定量ずつ混合、攪拌して供給材料とする。

(2) 選別の指標

選別の指標として次の 2つを考えた。

① ふるい分け効率 u_s 。

ふるい分け効率 u_s は、材料が定常状態で流れている時、一定時間内に供給された材料中に含まれる小粒量に対するその時間内の網下産物量の比で表わした。

$$t_1 \text{ (s) 間の供給材料量 } F_1 = O_1 + U_1 \quad (3-1)$$

$$\therefore u_s = \frac{U_1}{F_1 \cdot y_F} \quad (3-2)$$

② 網上産物中の小粒含有率 y_o 。

定常状態時の網上産物中の小粒含有率

(3) トレーサ法⁷⁸⁾ による材料の移送速度の測定

トレーサとして黒色粒を用いて、シリンダ内の材料の移送速度（上昇速度）を測定した。実験手順は次の通りである。

- ① 厚さ 2.2mm以上の玄米を製図用インクで黒色に染める。（粒が移送中にスクリーンから選別されてしまわないように、スリット幅 1.80mm より大きな粒を着色した。）
- ② 材料の流れが定常状態に達した時に、黒色粒 100粒を第2 ホッパ下部に供給する。
- ③ 上玄米口から排出される材料を、黒色粒供給時から 5秒間ずつ別々に回収する。
（図3-1 のタンク⑪の代わりにシュートを取り付けた。）
- ④ 5秒間ずつ回収された材料中の黒色粒数を数える。

第3節 実験結果および考察

1. 選別性能試験

(1) ふるい分け効率 u_s 。

らせん筒 H_c を供試して、シリンダ回転数 N 、らせん筒回転数 N_H 、材料供給量 Q が選別に及ぼす影響を調べた。 $N_H = 300\text{rpm}$ の時、ふるい分け効率 u_s へのシリンダ

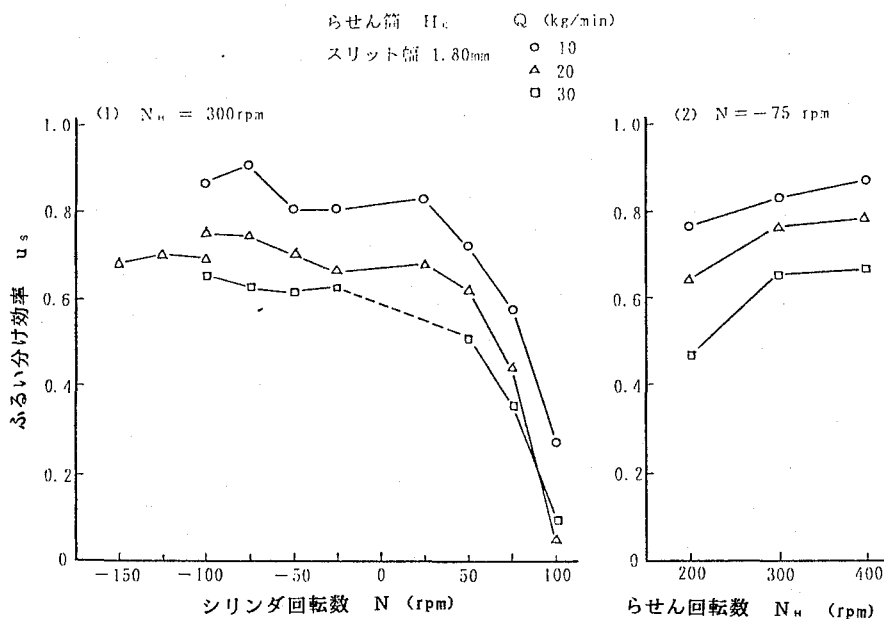


図 3-3 ふるい分け効率 u_s

回転数の影響を図3-3 (1) に示す。 u_s は Q が一定のとき、 N が -150 から -75 rpm まではほぼ一定であるが、 -75 から $+25 \text{ rpm}$ まではわずかに低下し、 25 から 100 rpm までは急激に低下し、 $N = 100 \text{ rpm}$ ではほとんど選別されなくなる。その理由は、材料がらせんで加速され、さらにスクリーンで加速された結果、遠心力が生じスクリーンに圧着するためであると考えられる。図4-12に圧着の状態を示す。 N の影響については、当初 -100 から $+100 \text{ rpm}$ の試験を行ったが、 -100 から -150 rpm の試験を $Q = 20 \text{ kg/min}$ のみで追加した（したがって、供試材料のロットが異なる）。材料供給量 Q は低い時選別は良いが、高くなるにつれて低下した。らせん H_0 では、 $Q = 50 \text{ kg/min}$ でも十分作業はできた。図3-3 (2) は $N = -75 \text{ rpm}$ の時、らせん筒回転数 N_H の影響を示す。 N_H は 200 から 400 rpm と高くなるにつれて u_s は高くなるが、 300 rpm 以上ではその上昇割合が小さい。

なお、らせん回転数 100 rpm では材料が全く上昇しなかった。 150 rpm では何とか上昇

したが、第2 ホッパに若干材料が残るなど上昇作用が不十分であった。

(2) 網上産物中の小粒含有率 y_o

つぎに、網上産物中の小粒含有率 y_o と N 、 N_H 、 Q の関係を示す (図3-4)。これは上玄米の選別の程度、すなわち、品質を示す値であり、實際上最も重要なものである。

この試験の供給材料の小粒含有率は4.82%であるが、網上産物中のそれは、良い条件では1%以下、シリンダ回転方向がらせんと逆方向なら $Q=30\text{kg/min}$ でも2%以下となっている。 y_o は y_F の大きさに若干左右される。(予備試験として y_F を3.4、6.5、9.4%に変えて選別したところ、それぞれ y_o は0.95、1.7、2.3%となった。)

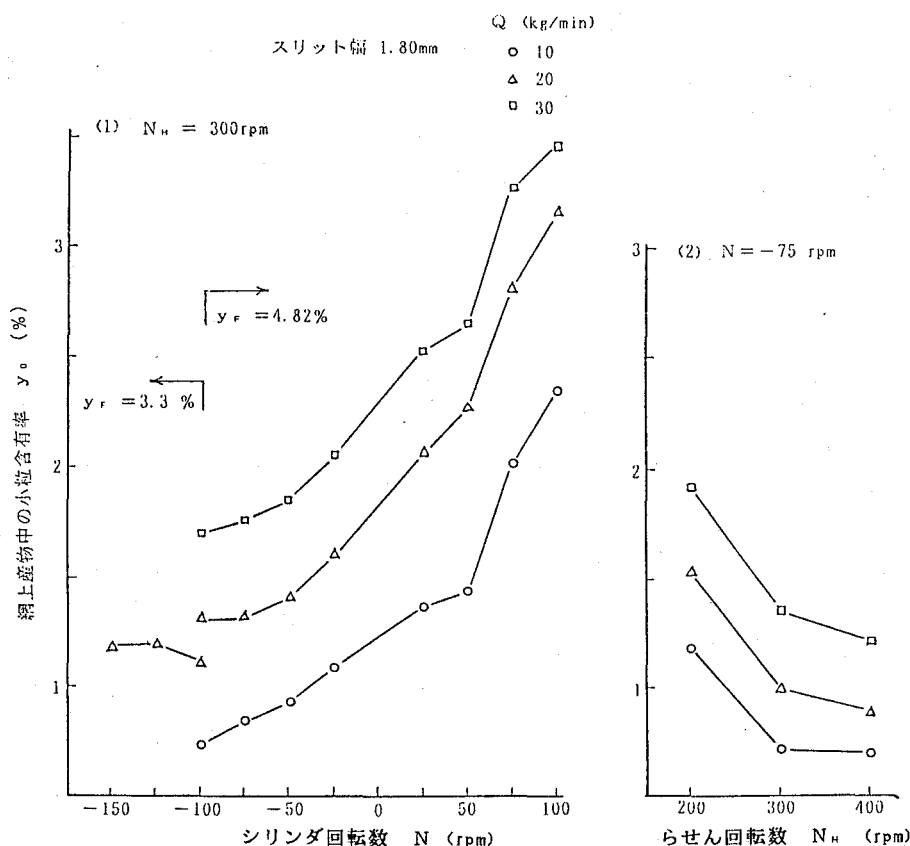


図3-4 網上産物中の小粒含有率

したがって、図3-4(1)には供試材料のロットの y_F を記入した。 y_o と u_o の値の双方から最適なシリンダ回転数を決めるとすれば、いずれの Q に対しても約 -75rpm となるであろう。また、最適ならせん筒回転数は約 300rpm と思われる。ところで、図から $N = 0\text{rpm}$ 、すなわち、シリンダが静止していても選別はかなり行われることがわかる。しかし、この時は目づまり防止板が作用しないので、連続運転時には目づまりが進行し、ついには選別不能に陥るので、実際の作業には不適當である。

2. 滞留量、残留米量、選別時間

(1) シリンダ内の材料滞留量

定常状態におけるシリンダ内の材料滞留量 $W(\text{kg})$ は

$$W = O_2 + U_2 + R \quad (3-3)$$

シリンダ単位長さ当たりの材料滞留量 $w(\text{kg/m})$ ($=W/0.91$) は、らせん回転数 N_H

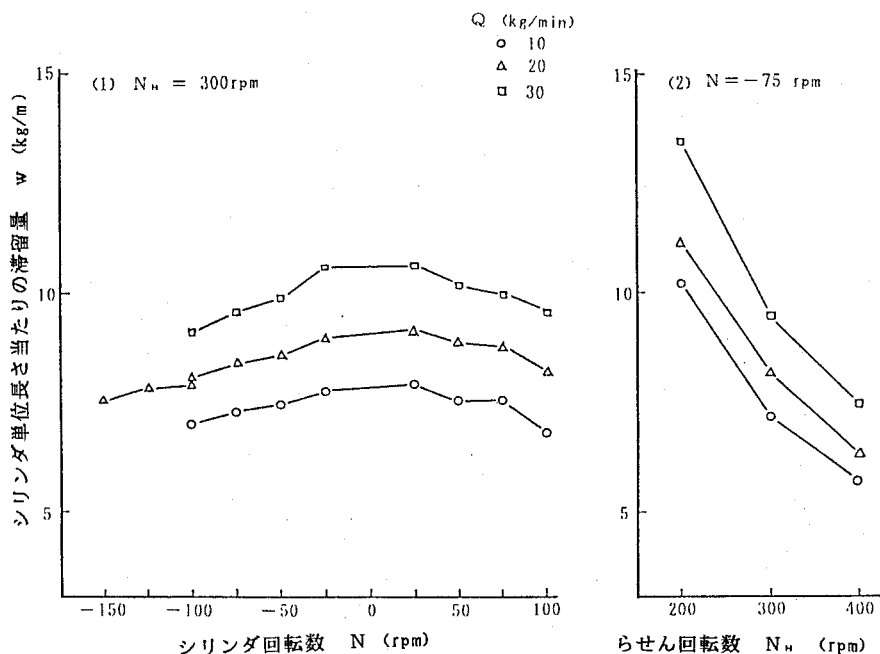


図3-5 シリンダ単位長さ当たりの材料滞留量

の増大に対して急激に減少している（図3-5(2)）。これはらせん回転上昇でシリンダ内の材料移送速度が高くなるためである。それに対して N の影響は比較的小さい。 Q の増大で w は若干大きくなる。

(2) 残留米量 R

材料を一定供給量で供給している時、供給を停止すると、排出はしばらく続くがやがて止まる。その時に、機内に溜っていたものが残留米である。これは実際の米選作業においては、処理する材料量が大量であるために無視されるものである。しかし、残留米は縦型米選機特有のものであり、らせん筒の材料持ち上げ作用を検討するために測定した。残留米量と N 、 N_H 、 Q の関係を図3-6に示す。 N 、 N_H が残留米に及ぼす影響は、先の w に対するものと同じような傾向を示している。しかし、 w と異なり R には Q は全く影響せず、いかなる Q の値に対しても同じ値を示している。そこで、図3-5(2)の w を、図3-7（縦軸 w (kg/m)、横軸 Q (kg/min)）に N_H をパラメータにし

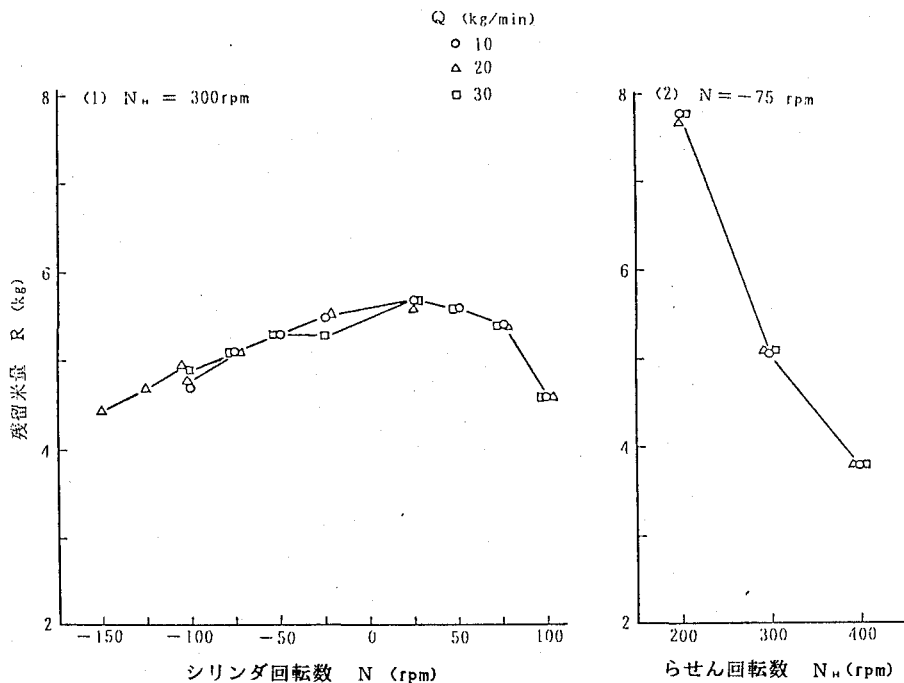


図3-6 残留米量

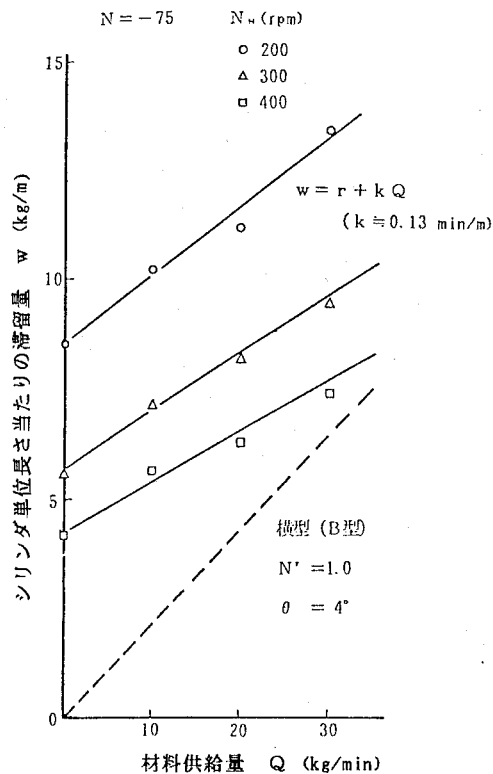


図3-7 シリンダ単位長さ当たりの滞留量と材料供給量の関係

て図示する。さらに、図3-6(2)の R からシリンダ単位長さ当たりの残留米 r (kg/m) 、
 $(=R/0.91)$ を求め、図3-7 の縦軸に記入する。

図3-7 から各らせん回転数ごとに直線が得られる。したがって、残留米量 R は Q を
 少なくしていった、 $Q=0$ の時のシリンダ内材料滞留量 W であることがわかる。 w は
 いずれの N_H においても次式で表わされる。

$$w = kQ + r \quad (3-4)$$

$$(k \approx 0.13 \text{ min/m})$$

縦型米選機では、 w と Q の関係は上式のようにあり、切片 r を有する。しかし、横
 型米選機では w は Q にほぼ比例するので(図3-7 の破線)、この点が両者の大きな相
 違である。

ここで残留米について考えてみたい。本縦型米選機では、スクリーンとらせん先端の間には、図3-2のように、らせん筒によって6~8mmのクリアランスが存在する。もし、クリアランスが0なら残留米はないはずである。すなわち、運転中には上方への材料の移送と同時に、常に、クリアランスを通して材料の漏下が生じており、Qを0にした時には、らせんによって持ち上げられる材料の量と漏下量がつりあっている。その状態で、シリンダ内に存在するのが残留米である。したがって、クリアランスが大きいほど漏下量が多く、残留米が多くなると予想される。 N_H は大きいほど材料のもつ円周方向の速度が大きくなり、漏下は減少し、Rは小となる。 N が+25rpm付近でRが若干大きいのは、粒の円周方向の速度とスクリーンの速度が等しくなるのではないかと想像される。

(3) 選別時間

シリンダ内の材料はらせんによって上方に移動している。その移送速度 V_f (m/min) は次のように求められる。

$$\text{材料供給量 } Q = \frac{O_1 + U_1}{t_1 / 60} \quad (3-5)$$

$$V_f = Q / w \quad (3-6)$$

したがって、スクリーン長0.64mの選別時間 t (s) は次のようになる。

$$t = \frac{0.64}{V_f / 60} \quad (3-7)$$

t と N 、 N_H 、 R の関係を図3-8に示す。この図から① N が選別時間に及ぼす影響は小さい。② N_H が低くなると急激に t が大きくなる。③ Q が低くなると急激に t は大きくなる、ことがわかる。②については、 N_H が低い時は移送速度が低いので t は大きくなる。③については

$$V_f = \frac{Q}{w} = \frac{Q}{kQ + r} = \frac{1}{k + \frac{R/0.91}{Q}} \quad (3-8)$$

上式よりQが低くなるとR、kはQとは関係のない定数であり、 V_f は小さくなり、 t は大きくなる。

つぎに、上玄米排出開始時間 t_0 を測定したので、それと N 、 N_H 、 Q の関係を図3-9に示す。 t_0 は材料が供給されてから上玄米口までの距離(0.91m)を移動する時間であり、 t はスクリーン長0.64mの選別時間であるため、 t_0 の70%(=0.64/0.91)と t を比較するとよい。結果は、 t_0 の70%より t の方が2~3秒(約15%)大きい値となっている。すなわち、材料の移送速度は供給開始時の方が、定常状態時より高い。これは材料供給開始時には、図3-7におけるQに対応した w になって上昇するのでなく、 r 以上になれば材料の上昇が可能になるからであろうと思われる。

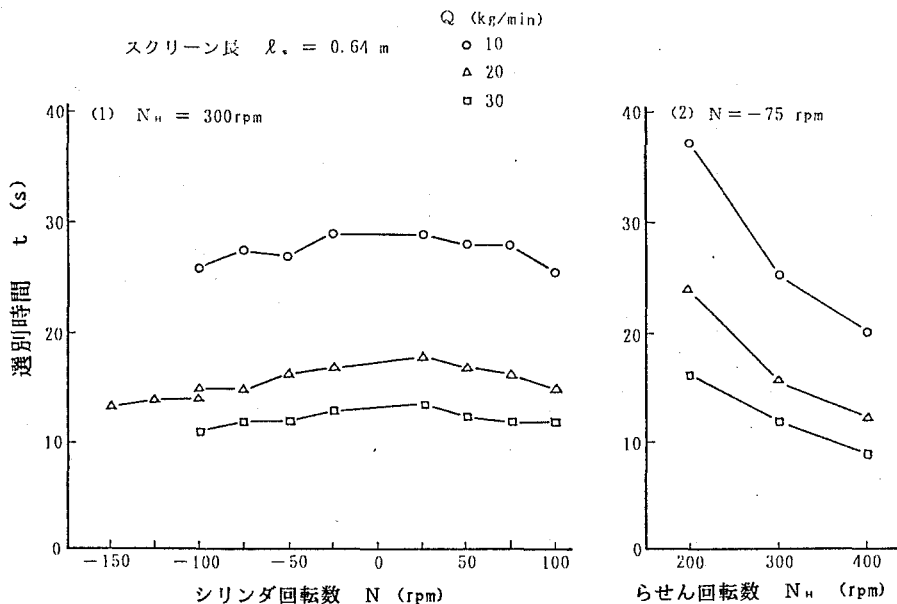


図 3-8 選別時間

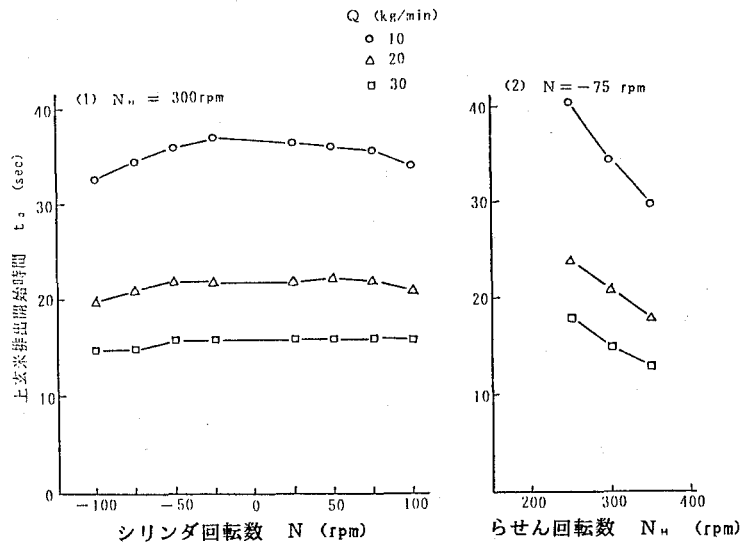


図3-9 上玄米排出開始時間

3. 選別速度係数 λ ,

縦型米選機の選別速度係数 λ を、横型米選機で求めたように、連続式選別装置 (図3-1) で求めた。

$$\lambda_i = -l_n R_i / t \quad (\text{式}(2-20))$$

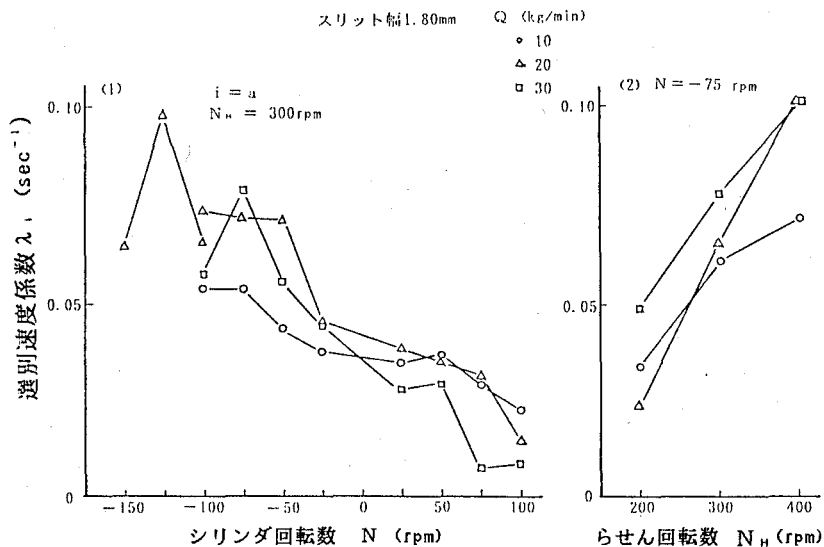


図3-10 サイズフラクション $i = a$ の選別速度係数

網上残留率 R 、は、供給材料 F と網上産物 O の粒径分布から求めた。網上産物中のサイズフラクション b 、 c の量は極めて少なくなっているので、 λ_b 、 λ_c の値は信頼性が低く図示は省略し、 λ_a のみを図3-10に示した。 N がプラスでは λ_a は極めて低い値であり、 N がマイナスでは 0.05 から 0.10 sec^{-1} の間の値を示している。 N がマイナスの時、材料供給量が 20 よりも 10 kg/min の方が λ_a の値が低くなっている。これは $Q=10 \text{ kg/min}$ の時、選別時間が長いことによるものである。

4. スリット幅、らせん筒の影響

らせん筒 H_A 、 H_B 、 H_C を供試し、スリット幅を 1.80 から 2.00 mm まで 0.05 mm 間隔で変化させて試験した(図3-11)。

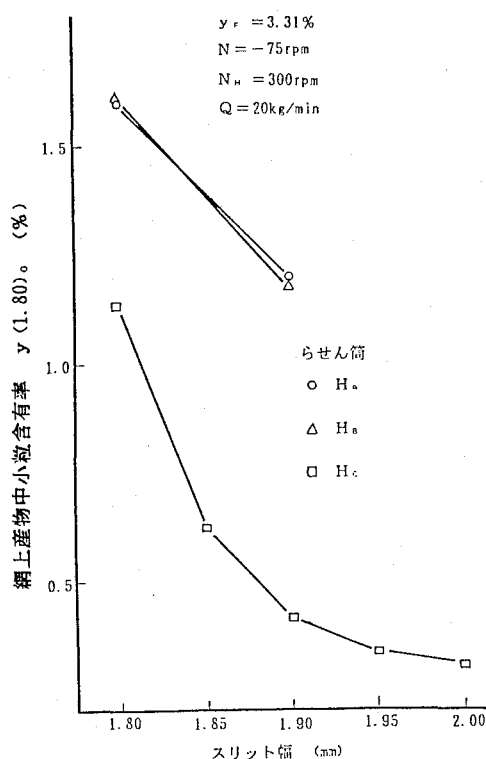


図3-11 スリット幅の異なるシリンダ網上産物中小粒(1.8以下)含有率

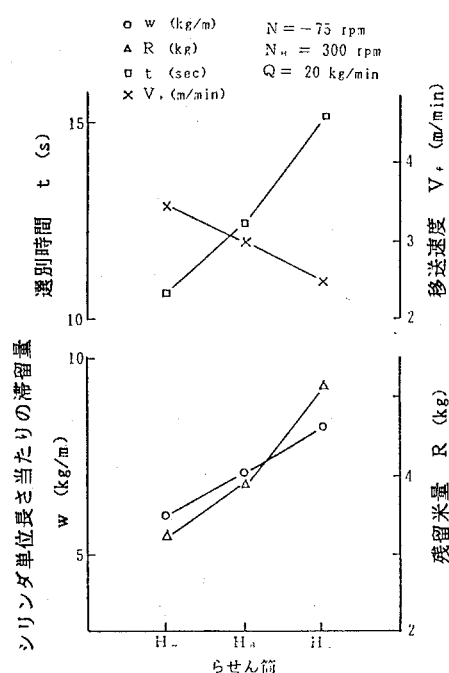


図3-12 らせん筒の種類がシリンダ単位長さ当たりの滞留量、残留米量、選別時間、移送速度に及ぼす影響

$y(1.80)_0$ は網上産物中の小粒 (1.80mm以下) 含有率である。スリット幅が大きくなると $y(1.80)_0$ は低くなる。しかし、一方で1.80mmからスリット幅までの上玄米が屑米口に出て損失が増加する。らせん筒別の選別性能は H_A と H_B に大差はなかったが、 H_C はかなり良かった。らせん筒がシリンダ単位長さ当たりの滞留量、残留米量、選別時間、移送速度に及ぼす影響を図3-12に示す。 H_C の選別性能が高いのはその選別時間が長いためである。またらせん上昇速度は次のように表わされる。

$$V_H = p \cdot N_H \quad (3-9)$$

V_H : らせん上昇速度 (m/min)

p : らせんピッチ (m)

N_H : らせん筒回転数 (rpm)

H_A 、 H_B 、 H_C のらせんピッチはそれぞれ50、35、50mmである。そのため、 $N_H = 300$ rpmの時、 H_A 、 H_C のらせん上昇速度は15m/min、 H_B では10.5m/min となる。

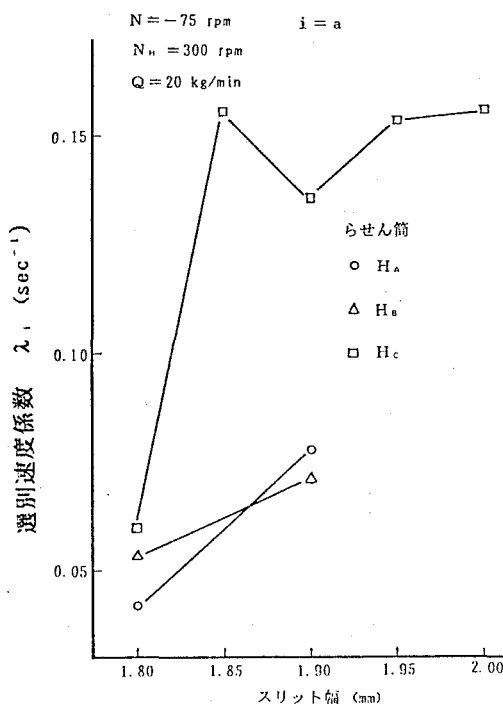


図3-13 スリット幅とらせん筒の種類が選別速度係数に及ぼす影響

したがって、らせん上昇速度に対する材料移送速度の比は、 H_A 、 H_B 、 H_C ではそれぞれ0.23、0.29、0.17となった。

H_A と H_B を比較すると、 H_B は V_f が小さく t は大きい。 H_A と H_C では、らせんピッチが同じであるにもかかわらず、 H_C は w が大きいため t が大きい。 H_A と H_C は、らせん形態が異なると同時にクリアランスが H_C の方が少し大きい。クリアランスが大きいと w が大きくなると思われるため、この実験では、らせん形態だけの比較はできなかった。

らせん筒とサイズフラクション a の選別速度係数 λ の関係を図3-13に示す。

5. トレーサとして黒粒を利用した材料移送速度の測定

$Q=20$ kg/min で、 N_H を200、300、400 rpm、 N を-100、-50、+50、+100rpmに変えて実験を行った。5秒間ごとに回収した材料中の黒粒の粒数を図3-14に示す。各実験において、黒粒はほぼ100%回収することができた。結果は、いずれの N_H においても N がマイナスよりも+100rpmで距離0.91mの移送時間が小さい。しかも、図3-8と比較すると短時間で0.91mを動いた粒がかなりある。これは $N=+100$ rpmでは粒がスクリーンに圧着されており、後で供給された黒粒のかなりのものがスクリーンに接することなく、単にらせんによってスムーズに上昇することを示している。このような粒は当然選別作用をほとんど受けない。一方、いずれの条件においても時間のばらつきは30~40秒とかなり大きい。これは、供給された材料が機内で攪拌作用を受けていることを示すものである。 Q の影響を図3-15に示す。 Q が小さくなるほど平均時間は大きくなり、ばらつきが大きくなっている。図3-14、3-15からスクリーン長さ $l_s=0.64$ mを移送する平均時間 t_s を算出し図3-16に表わす。これは図3-8の値と比較すると若干低い。それは黒粒100粒を投入すると流速の大きい材料の流心に入るからであると考えられる。

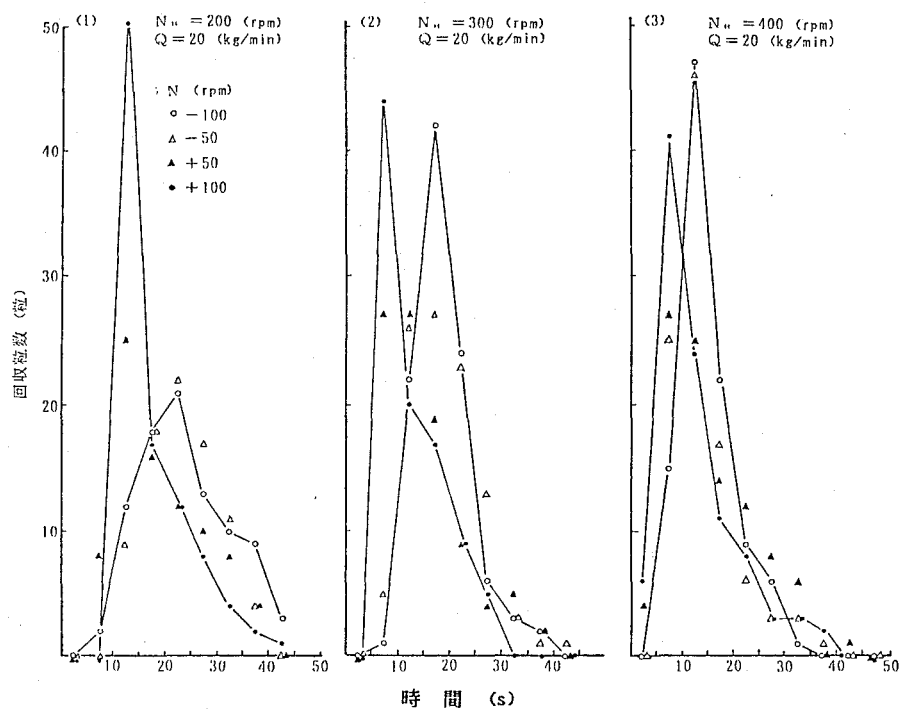


図3-14 トレーサ使用による移送速度の測定 (距離 0.91mの移送時間)

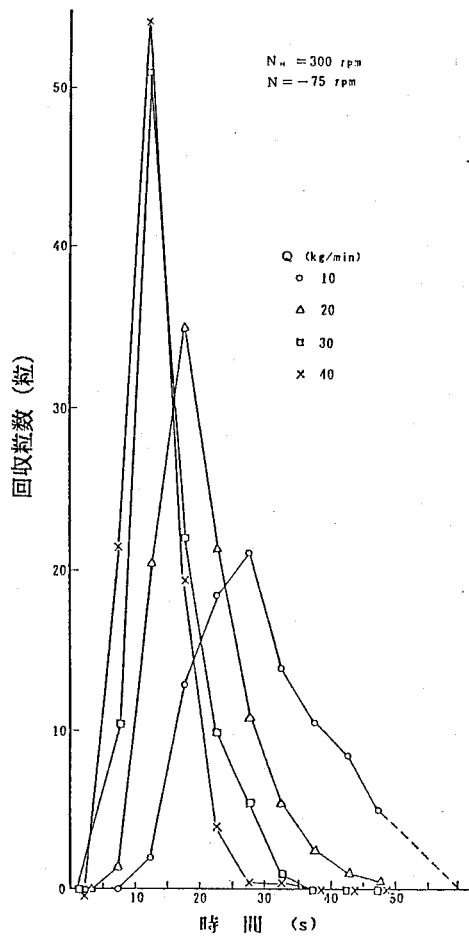


図3-15 トレーサ使用による移送速度の測定

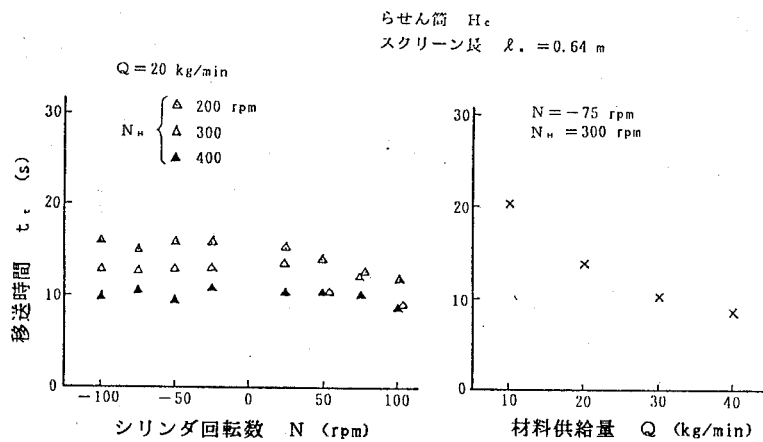


図3-16 黒粒がスクリーン長0.64 mを移送する時間

第Ⅳ章 シリンダ内の粒子の運動

回転米選機による粒子の選別を理論的に考察するには、次の 2つの過程に分ける必要がある。

- ① シリンダ内に供給された粒子がスクリーンに到達する過程
- ② スクリーンに接している粒子がスリットを通過する過程

①の過程を考察するには、シリンダ内の粒子の運動を明らかにしなければならない。粒子の運動は次の 2つに分けることができる⁴⁰⁾。

シリンダの断面内の粒子の運動

シリンダの軸方向の粒子の運動

断面内の運動により、粒子が一定時間内にスクリーンに到達する確率が決定され、軸方向の運動により、選別時間が決定される。

②の過程では、スクリーンと粒の滑り率などについて考察した。

第 1 節 シリンダ内の粒子の運動

1. 横型回転米選機

(1) シリンダ断面内の粒子の運動

シリンダ傾斜角が 0° である回分式選別装置を利用して、シリンダ断面内の材料の運動を調べた。円形シリンダ内の材料の運動については大山の研究⁶³⁾がある。ここでは円形シリンダのほかに、攪拌棒付き円形シリンダ、角形シリンダを加えた。

a 実験方法

① 写真撮影

回分式選別装置のシリンダの断面をガラス板にして、軸方向から写真撮影した。シ

リンダ直径、シリンダ断面形状、シリンダ角数、攪拌棒の本数、材料滞留量などを変え、それぞれに対してシリンダ回転数 N^* を0.5、0.7、0.9、1.0、1.1に変えて撮影した。シャッタ速度はすべて $1/125(s)$ である。

② 高速度撮影

上記装置を使用し、写真撮影と同様に軸方向から高速度撮影(16mm)した。製図用インキ(黒色)で染めた材料を、図4-9(1)のようにシリンダの最下部に入れ、黒粒の移動状態を撮影する。なお、黒粒が軸方向に偏らないようにシリンダ幅を狭くした(3cm)。材料量は200g/3cmで、内、黒粒は10gである。

撮影条件は400pps(pictures per second)、タイミグライト(パルスジェネレータで発生する正確なパルスをフィルムの端に記録し時間の目安とする。)は10cpsで、フィルムはフジフィルム社製RT500(カラー、ポジ)を使用した。画面にはシリンダの中心を通る垂直と水平の基準線と5cmのスケールを入れた。

③ 偏析

シリンダ中で生ずる偏析現象を①と同じように写真撮影した。材料は黒色小粒(1.4~1.6mm)をシリンダの最下に、その上に大粒を入れた(図4-9(1))。シリンダ回転数は21rpm($N^*=0.26$)である。

b 実験結果

① 写真撮影

B型シリンダを供試し、シリンダ内の材料量を $S_m^*=1/8$ 、 $2/8$ 、 $3/8$ と変え、シリンダ回転数の影響をみたのが図4-1である。 $S_m^*=1/8$ で $N^*=0.5$ の時、スクリーンに接した材料は、スクリーンとの摩擦によって持ち上げられ上方に移動し、その後、重力を受けて材料のなす傾斜面を下降し、スクリーンに達すると再び持ち上げられ循環する。その模式図を図4-2に示す。図中Aの部分は上方に、Bの部分(cascade⁶³⁾と呼ばれている。)は下方に移動している。したがって、AとBの間の破線は上昇、下降速度0の部分であり特にC点是不動点⁶³⁾である。シャッタ速度 $1/125(s)$ の写

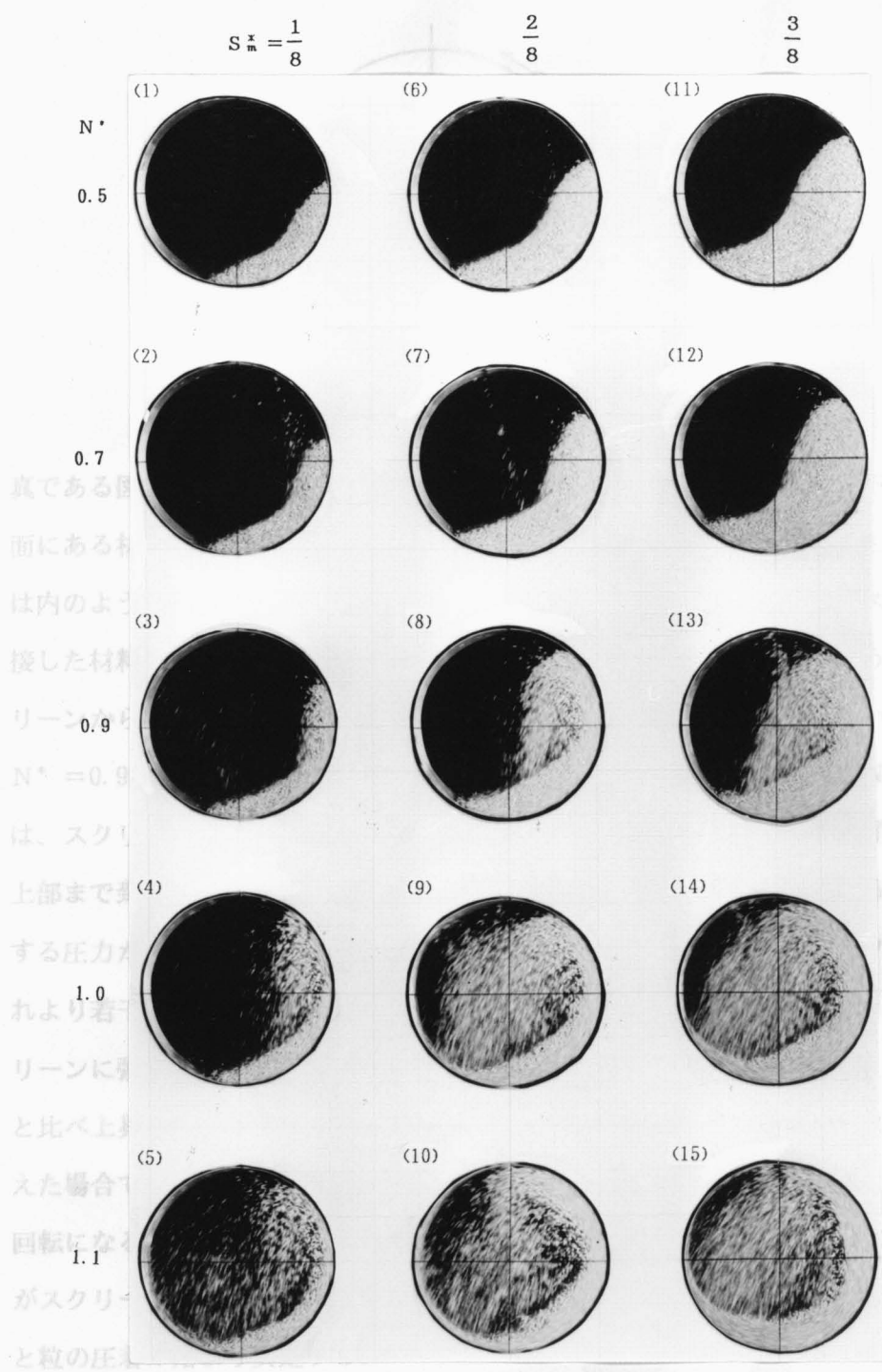


図4-1 円形シリンダ (B型) 内の材料の運動 (滞留量の影響)

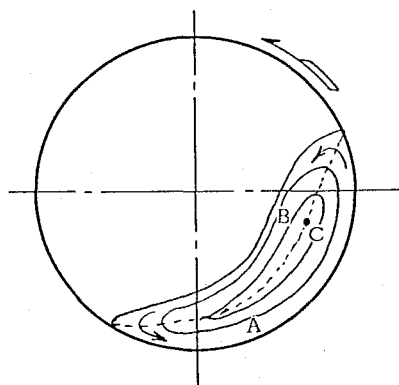


図4-2 シリンダ内の材料の運動（低回転の場合）

真である図4-1(1)では、その部分がぶれていない。回転が低い時には、下降行程で表面にある材料は上昇行程でスクリーンに接して上昇し、時間が経過しても外は外、内は内のように層状の運動が行われている（図4-2）。 $N^* = 0.7$ では、スクリーンに接した材料の速度が大きくなり材料の上昇する高さは増し、若干飛しょうする。スクリーンから少し内に入った部分では、速度が小さいために飛しょうしない。しかし、 $N^* = 0.9$ では、すべての材料が放てきされ放物線を描いて落下する。 $N^* = 1.0$ では、スクリーンに接する部分の材料はシリンダの最上部近くまで持ち上げられる。最上部まで到達しないのは、材料量が少ないためにスクリーンと接している材料に作用する圧力が小さく、スクリーンと粒との間に滑りが生じ、粒の速度がスクリーンのそれより若干小さいためであろう。 S_m^* が大きくなると材料の自重が増し、材料がスクリーンに強く押し付けられ、スクリーンの回転が粒によく伝えられ、 S_m^* が小さい時と比べ上昇、飛散が大きくなっている。図4-3 はシリンダ直径を $\phi 140$ と $\phi 480$ に変えた場合である。シリンダ回転数が低い場合は粒の運動に相似性がある。しかし、高回転になると層の厚さが異なってくる。これは大山⁶³⁾ も指摘するように、飛散粒子がスクリーンに衝突し運動状態が不安定になったためである。さらに、高回転になると粒の圧着が始まり安定する。

図4-4 は攪拌棒を 3本と12本に変えた結果である。攪拌棒は材料を持ち上げ、 N^*

$$S_m = \frac{1}{4}$$

φ 140

φ 480

=0.5、0.7 のように低回転においても粒の捕捉が制約される。流ははたの数が
 時は持ち上げが
 十分に粒に伝え
 図4-5 はシリ
 がある時と同じ
 料が持ち上げら
 す通り相当半値
 実質 N^* は1.0
 かどの間の平面
 大きくなるにつ
 円形では攪拌
 スクリーンに圧
 のかどに捕捉さ
 攪拌棒12本（図
 には圧着してい
 る点もある。
 ② 高速度攪拌
 先の写真撮影
 シリンダ最下部
 動きおよび、そ
 まず、シリ
 る1/10秒間隔の
 ら時間を知るこ
 転時から1回転

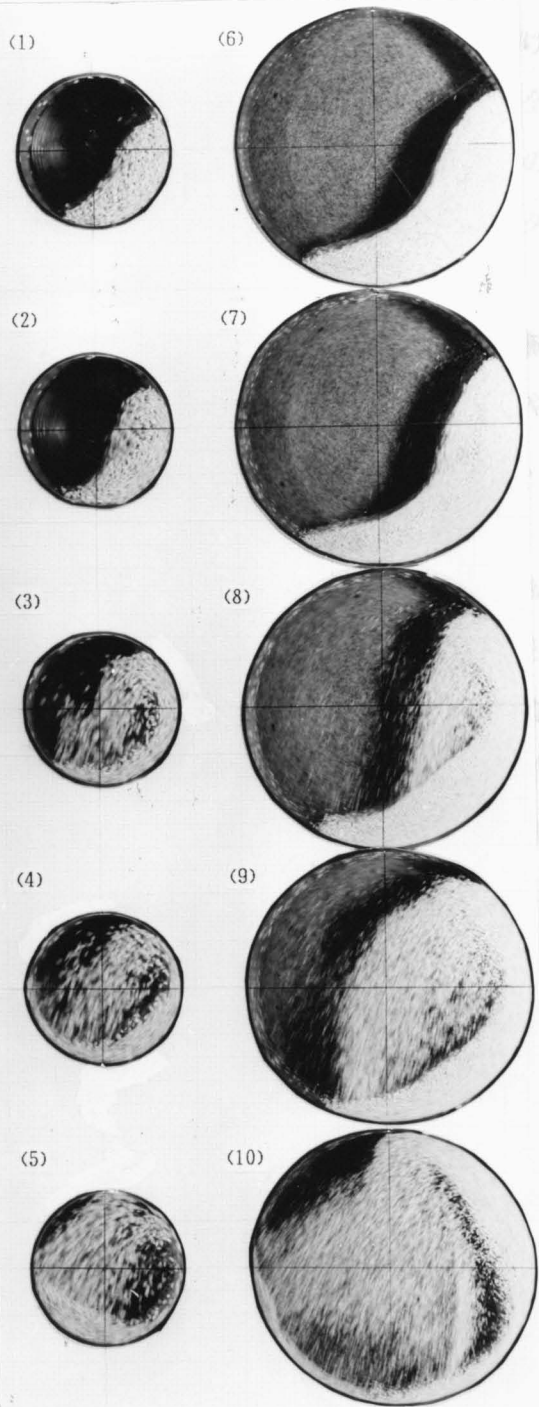


図4-3 シリンダ直径の影響

$=0.5$ 、 0.7 のように低回転においても粒の飛散が観察される。攪拌棒の数が少ない時は持ち上げが間欠的であるが、多い場合は次々と持ち上げられ、シリンダの回転が十分に粒に伝えられ、 $N^* = 1.0$ では粒はほぼスクリーン全面に圧着する（図4-4(9)）。

図4-5 はシリンダの角数を 6、8、12角と変えた時のものである。いずれも攪拌棒がある時と同じような飛散状態が見られる。これはシリンダのかどの部分に入った材料が持ち上げられるためである。なお、かどの部分の半径（ r_{max} ）は、図4-6 に示す通り相当半径（ r_c ）よりも大きく、シリンダの臨界回転数 N_c ではかどの部分は実質 N^* は 1.0 より大きくなり、粒はスクリーンに圧着しやすくなる。一方、かどとかどの間の平面部は 1.0 より小さくなり両者に差が生ずる。ただし、角数が 8、12と大きくなるにつれてこの効果は小さくなる。

円形では攪拌棒の本数が多くなると飛散は多くなり、回転数が大きくなると材料がスクリーンに圧着する。それに比べ、角形では角数が増すと飛散回数は増すが、1つのかどに捕捉される材料量は少なくなるため、飛散量は少なくなる。例えば、円形で攪拌棒12本（図4-4(9)）では全面に圧着しているが、12角形（図4-5(14)）では全面には圧着していない。角形では攪拌棒と同じような作用がある反面、このように異なる点もある。

② 高速度撮影

先の写真撮影は材料の運動が定常状態に達した時に行った。高速度撮影は、黒粒をシリンダ最下部に供給してシリンダを回転させることにより、回転開始時の黒粒群の動きおよび、それによる攪拌の進行の状態を観察した。

まず、シリンダ回転開始時から各コマに通し番号を付け、フィルムの枠に入っている $1/10$ 秒間隔のスポットから $1/10$ 秒間のコマ数を出す。それによって、逆にコマ数から時間を知ることができる。 $N^* = 1.0$ 、すなわち、 $N = 79.9\text{rpm}$ の時、シリンダ回転時から1回転の所要時間を求めたところ 0.75 秒であったので、シリンダは1回転目から設定回転数で回転していることがわかる。

$$S_m^x = \frac{1}{4}$$

3 本

12 本

N'

0.5

0.7

0.9

1.0

1.1

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

(9)

(10)

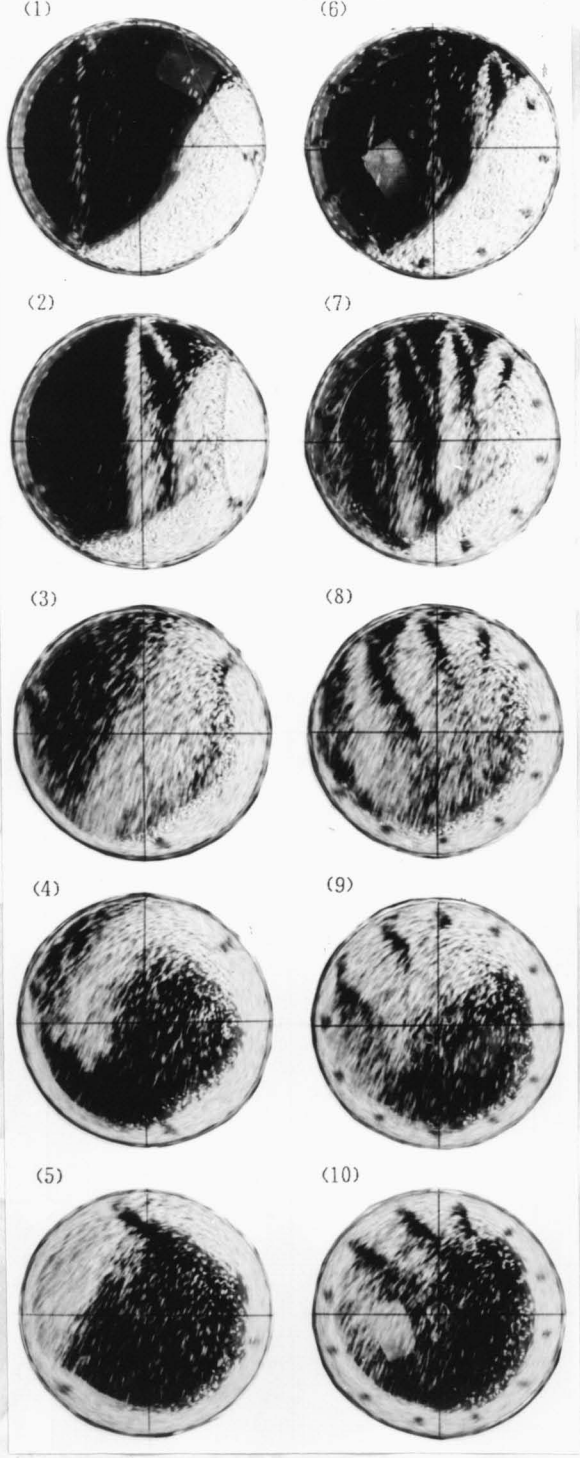


図4-4 攪拌棒の数の影響

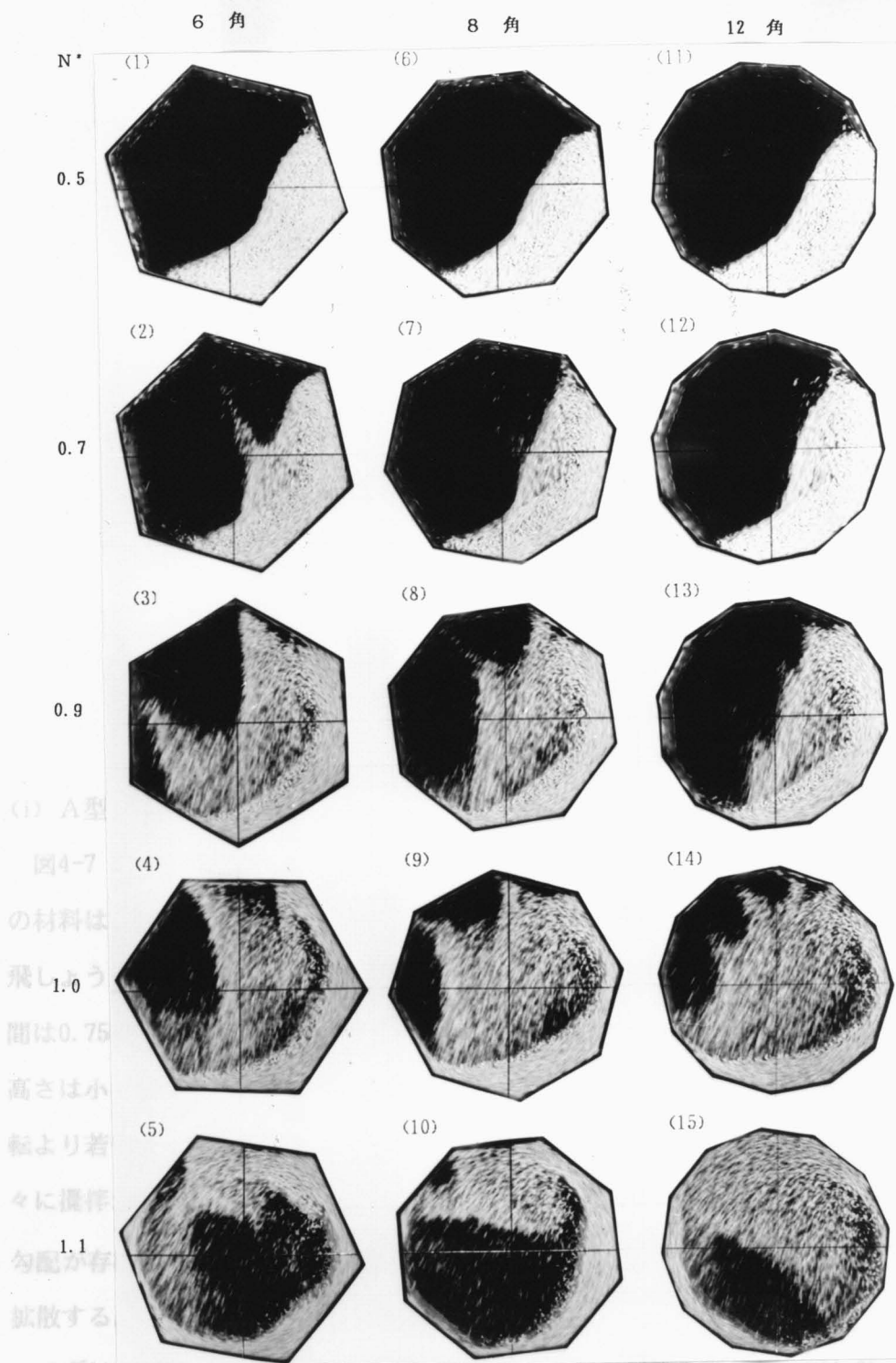


図4-5 シリンダの角数の影響

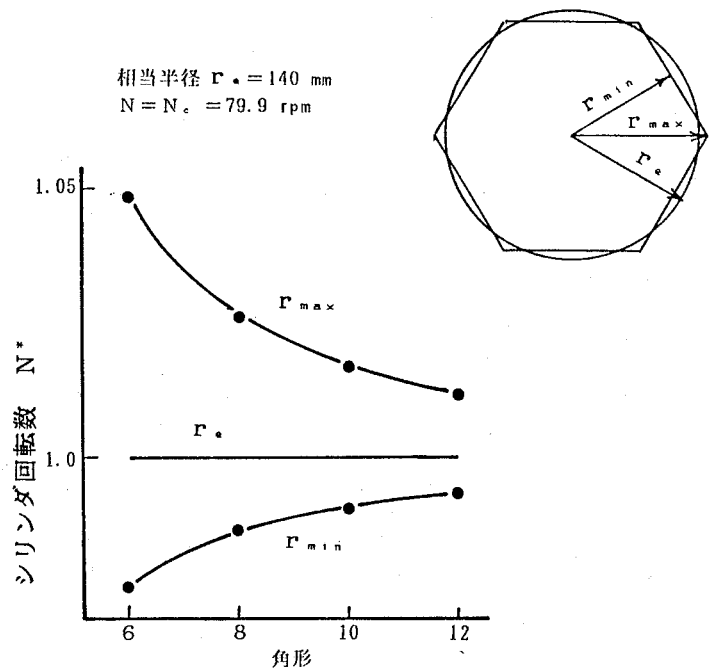


図4-6 シリンダ回転数が $N^* = 1.0$ の時シリンダのかどおよび
かどとかどの中点の N^*

(i) A型シリンダについて

図4-7 は回転開始時から1/10秒ごとの状態を示している ($N^* = 1.0$)。1回転目の材料は、供給された時の材料の状態をほぼ保ちながらかなり高く上昇し、その後、飛しょう運動をしている。最初、最下部にあった黒粒が、再び最下部に来るまでの時間は0.75秒であり、シリンダの1回転の時間と同じであった。2回転目以降では上昇高さは小さくなり、材料が1回転するに要する時間は0.85~0.90秒で、シリンダの回転より若干長くかった。A型では攪拌作用が小さいと予想された(図2-50)が、徐々に攪拌が進行する様子が観察された。すなわち、①シリンダの半径方向に粒の速度勾配が存在するので拡散する。②下降行程の最後で、下にある材料と軽い衝突を生じ拡散する。

つぎに、材料が定常状態で運動している時の黒粒の移動を調べた(図4-8)。これは

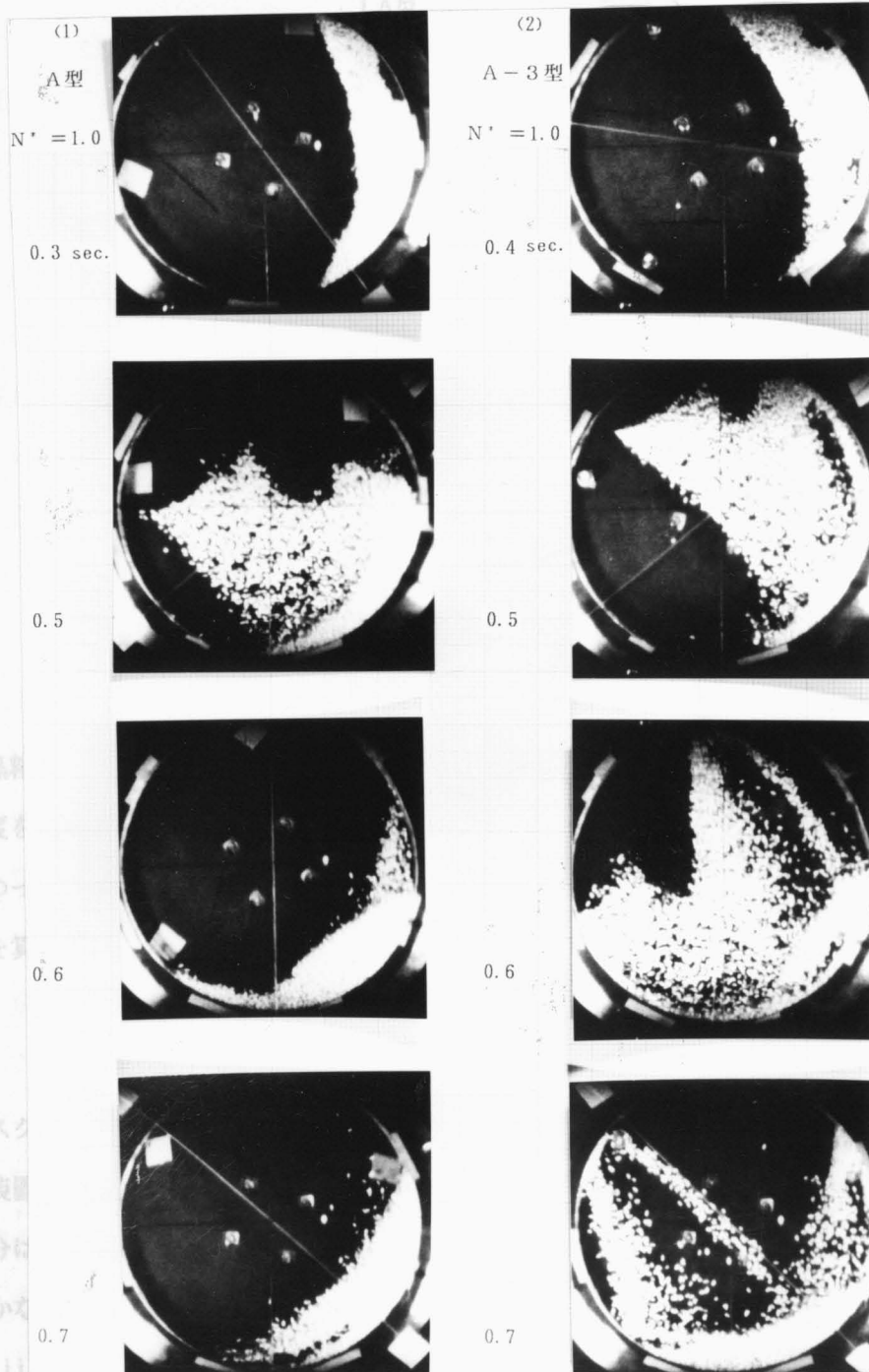


図4-7 高速度写真 (600pps) の材料の動きの様子を見ることので

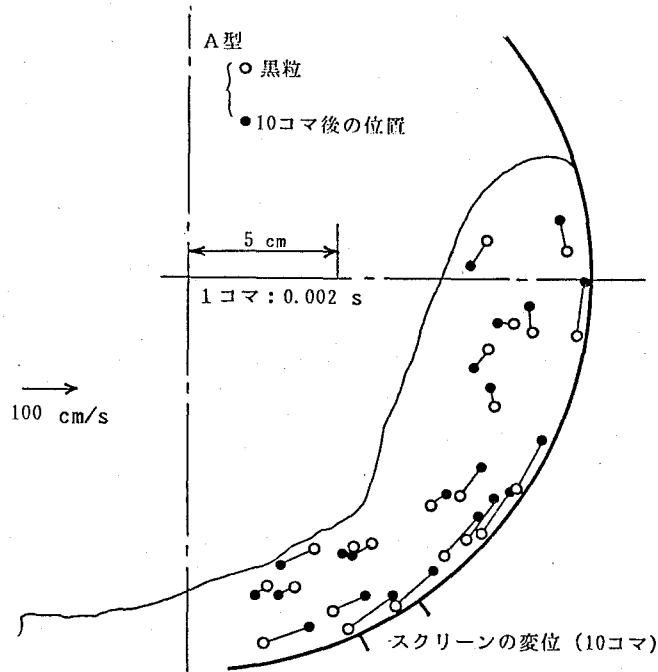


図4-8 黒粒の運動 (A型シリンダ)

黒粒が10コマで動いた量であるが、1コマは0.002秒であるので、変位の大きさは速度を表わしていると考えてよい(100cm/sの速度を同図中に記した)。選別と深くかかわっているのはスクリーンに近い粒であるので、その粒のスクリーンに対する滑り率を算出した。

$$\text{滑り率} = \frac{\text{スクリーンの速度} - \text{粒の速度}}{\text{スクリーンの速度}} \times 100(\%) \quad (4-1)$$

スクリーンに近い粒の滑り率はほぼ10%であった。図4-8のシリンダ下方では、解析装置の像が不鮮明で、また、粒の動きが複雑なため粒の追跡ができなかった。この部分は下降行程の最後であるので、粒とスクリーンの速度の方向が逆になり、滑り率はかなり大きいと予想された。

(ii) D、A-3型シリンダについて

D、A-3型の高速度撮影から、 $N^* = 1.0$ での材料の攪拌の様子を見ることがで

きる。A-3型では攪拌棒がシリンダと一体であることから攪拌棒とシリンダが同心状に運動するため、攪拌棒は材料の中に突入し、材料をシリンダの速さに保ちながら（滑り率 0）上方に抜けていく。これによって、攪拌棒は材料を積極的に攪拌すると同時に、攪拌棒の前方や、スクリーンとの間の材料のスクリーンに対する滑り率を 0 に近づける。Fellerは相対速度が 0 に近づく時選別が良くなる¹⁶⁾、と述べているが、上に述べた間欠的に滑り率を 0 にするような棒の作用が、A型よりも選別を良くするものと思われる。さらに、棒は材料の放てきを強めるので、下の材料との衝突による攪拌が進行する。D型はかどに材料を保持したまま上方に持ち上げるため、スクリーンに接している材料とスクリーンの間の滑り率は比較的小さい。これによって選別が促進される。さらに、攪拌はA-3型と同様に放てき、落下で行われる。

③ 偏析

一般に、形状、粒径、密度の異なる粒子からなる混合物に、振動、タッピングが与えられると、偏析が生ずることが知られている。

回転米選機内ではこれまでみたように、材料の上昇、下降が繰り返されて材料間に速度差があるために、小粒の偏析が予想される。しかし、 $N^* = 1.0$ のような実際の作業条件では偏析が確認できなかった。そこで攪拌作用が小さいと思われる、 w が大きく (100kg/m 、 $S_m^* = 0.19$) で N^* が小さい ($N = 21\text{rpm}$ 、 $N^* = 0.26$) 条件での小粒の挙動を調べるために、図4-9(1)のように下方に小粒（黒粒）を入れ運転した。しかしこの状態では、小粒がスクリーン上にあるためすぐに選別されてしまうので、スクリーンの外側に紙を貼り、運転、撮影した。シャッタ速度は $1/500(\text{s})$ である。

図4-9 は回転後 2、4、6、30秒、1分のものである。2秒、4秒で黒粒の攪拌が進み、6秒でほぼ均一に混合された。しかし、30秒で中央部に黒粒の集中が見られ、1分で若干集中が進んだが、その後2分、5分では1分と大差なかった。

これは、下降行程において、粒は斉整流動⁷⁷⁾ しており、表層と内層の粒子の速度勾配が大きく、図4-9(2)～(6)の写真では、下降行程の表層で大きなぶれが見られる。

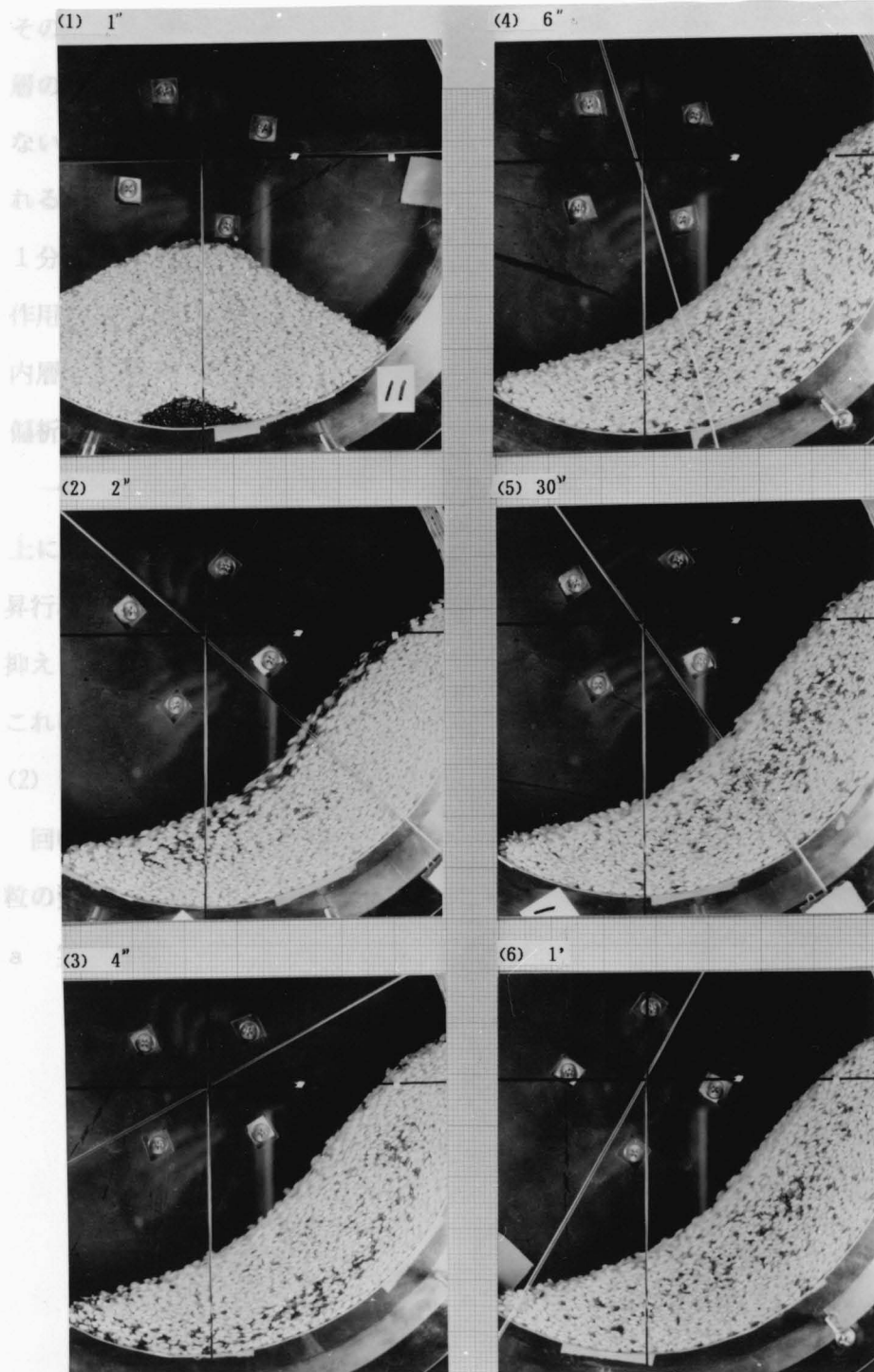


図4-9 シリンダの壁方向へのリーンの進行

図4-9 偏折現象

そのため、小粒が材料表面から内部に移動し偏析する。それに対し上昇行程では、外層の粒の速度は低く（速度勾配は小）、粒重も大きいため、小粒の外層への移行は少ない。しかも、図4-1に見られるように材料の運動は内層は内層、外層は外層でなされるため、上昇、下降が繰り返されて、次第に中心に小粒が集中したと考えられる。

1分以降その進展が見られないのは、材料の攪拌作用がある程度存在するために、両作用がつりあったと考えられる。このように低回転では、偏析作用は小粒を外層から内層に移動させるものであり、選別を抑制するように作用する。以上は極端な条件で偏析作用を確認したものである。

一方、高回転（ $N^* = 1.0$ ）では、材料は飛しょうするので（飛しょうして材料の上に落下した後、わずかに齊整流動が見られる）、下降行程では偏析は生じない。上昇行程では速度勾配は大きくなるが、同時に遠心力が大きくなり、小粒の移動が若干抑えられる。結果として、小粒は内層から外層へわずかに偏析することが考えられる。これは低回転の時と異なり、選別を助長するように作用する。

(2) シリンダの放射方向からのスクリーンの撮影

回転中のシリンダを側面から写真撮影することによって、スクリーンに接している粒の姿勢を観察し、スクリーン面形態と選別の関係を調べた。

a 実験方法

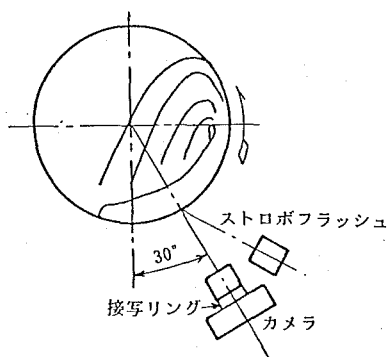


図4-10 シリンダの放射方向からのスクリーンの撮影

は 回分式選別装置にスクリーンA型およびB型をセットし、暗闇で回転し、ストロボフラッシュを用いて写真撮影する。撮影方向は図4-10に示すように、スクリーンの真下から 30° の放射方向である。運転条件は $S_m^* = 0.1$ 、 $N^* = 1.0$ であり、撮影条件

の粒数を数えた結果、1スリットあたりの平均粒数は、A型では1.8粒、B型では3.8粒であった。1スリットあたりの平行粒数は、A型では1.8粒、B型では3.8粒であった。すなわち、B型スクリーンに整列する作用が強いのは、粒がスリット幅に一致しているわけである。この作用を及ぼすために、スリットでない部分の幅はスクリーンの強度からのみ決められるため、帯動幅は約2/3となっている。この点に對し、平行スクリーンには、このような作用はない。

2. 縦型回転式選別装置
(1) 方法
シリンダの回転速度は、らせん筒の回転速度の1/2である。

2. 縦型回転式選別装置

(1) 方法

シリンダの

ダ、らせん筒

・撮影条件



(2) B型



図4-11 回転中のシリンダ内のスクリーン上の粒の撮影

はASA100、接写リング使用、被写体とレンズの距離13cmである。

b 実験結果

撮影の結果を図4-11に示す。写真から、粒の姿勢がほぼスリットと平行になっている粒数を数えた結果、1スリット当たりの平行粒数は、A型では1.1粒、B型では3.8粒であった。スリットの長さが表2-6のように異なるため、スリット単位長さ当たりの平行粒数を算出すると、A型では0.45粒/cm、B型では1.3粒/cmとなった。すなわち、B型の値はA型の3倍であり、これはB型の波形では、粒をスリット方向に整列する作用があることを示している。粒の長軸がスリット方向と一致することが多いのは、粒が波形の溝に入っているから起こるのであり、その時、粒の厚さ方向がスリット幅に一致する確率が高い。したがって、この整列作用が波形の選別を良くしているわけである。波形のスクリーン断面は表2-6のようになっている、粒に整列作用を及ぼすためには、シリンダ内面の凸部の高さがある程度必要であり、そのためにスリットでない部分の幅を広くしなければならない。これに対して、平面ではその部分の幅はスクリーンの強度からのみ決められるため、市販のスクリーンでは波形の約2/3となっている。すなわち、波形では粒の整列作用により選別の向上を図っているのに対し、平面では空間率を大きくすることによって選別の向上を図っているわけである。

2. 縦型回転米選機

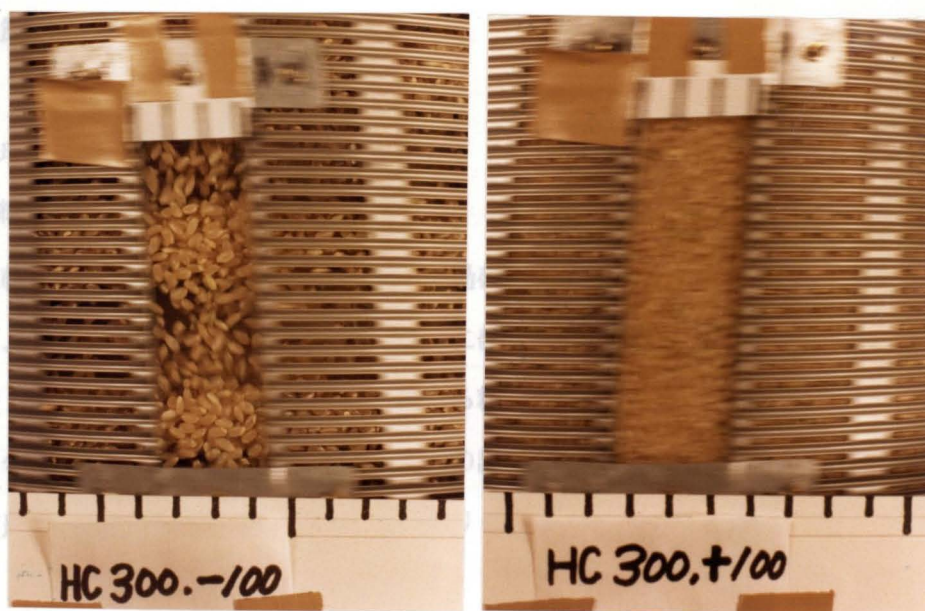
(1) 方法

シリンダの1部を切り取りガラス(縦90×横30mm)をはめこみ、運転状態(シリンダ、らせん筒共に回転)で外部から写真撮影および高速度撮影を行った。

撮影条件

写真撮影 : ライト1000 W×3、ASA 400、絞り 8、シャッタ 1/500(s)

フォーカルプレーン移動方向: 上下



(1) $N = -100 \text{ rpm}$

(回転方向)

(2) $N = +100 \text{ rpm}$

←らせん筒 ←

→スクリーン←

図4-12 スクリーン上の粒の運動

高速度撮影：ライト1000 W×3、レンズ 28mm、距離60cm、絞り3.5

(2) 結果

図4-12は、スクリーン内の粒子の運動状態の撮影の結果である。(1)は $N = -100 \text{ rpm}$ の時であり、らせん板上に粒が多く存在し、スクリーンとらせんの間のクリアランスを粒が漏下する状態が見られる。粒はらせんにより左方向に運動しているが、スクリーン上の粒はスクリーンで押し戻され、結果として絶対空間での粒の速度が小さく、写真ではぶれが少ない。一方、(2)は $N = +100 \text{ rpm}$ の時であり、スクリーン上の粒はスクリーン（ガラス）に圧着しているため、スクリーンと同じ速度で左に運動しており、ぶれている。なお、写真では鉛直線に対しガラスの縦線が傾斜しているのはフォーカルプレーンシャッターのカメラで撮影したためである。

第2節 部分分離効率曲線

1. 理論

(1) 網上残留率

三輪⁴⁴⁾ は正方形網目について粒子通過確率 P を考え、網上残留率、粒子の相対サイズ、試行数の関係を示している。さらに部分分離効率曲線を出し、 $x_{0.5}$ と $1/\sqrt{\ell}$ ($x_{0.5}$ は網上残留率が0.5 に対応する粒子直径、 ℓ はスクリーンの長さ) のグラフの勾配からスクリーン単位長さ当たりの試行数を求めている。そこで、この方法を使用して米選機での各値を求める。スリットの大きさと粒子直径を図4-13に示す。

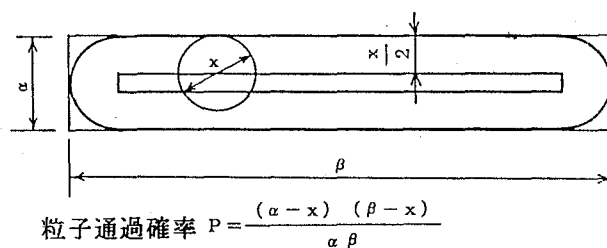


図4-13 粒子通過確率

粒子通過確率 P は次式で表わされる。

$$P = \frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} \quad (4-2)$$

ここに、 α : スリットの幅 (mm)

β : " の長さ (mm)

x : 粒子直径 (mm)

粒子が網上に残留する確率は

$$1 - P = 1 - \frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} \quad (4-3)$$

試行数（仮想的な粒子の衝突回数）を I とすると網上残留率 r_1 は

$$r_1 = \left\{ 1 - \frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} \right\}^I \quad (4-4)$$

これは粒径別の網上残留率を表わしており、部分分離効率と呼ばれている。

対数をとると、

$$\ln r_1 = I \ln \left\{ 1 - \frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} \right\} \quad (4-5)$$

$\frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} < 1$ だから、テーラー展開の第 1 項のみをとると、

$$\ln r_1 \approx -I \frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} \quad (4-6)$$

$$\therefore r_1 = \exp \left\{ -I (\alpha - x)(\beta - x) / \alpha \beta \right\} \quad (4-7)$$

ここで米選機のスリット寸法 ($\alpha = 1.80\text{mm}$, $\beta = 25\text{mm}$) を代入して部分分離効率 r_1 、相対サイズ x/α 、試行数 I の関係を算出すると図 4-14 のようになる。同図

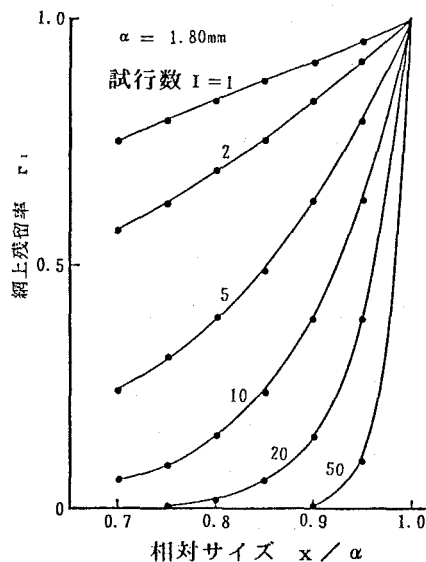


図 4-14 相対サイズと試行数が網上残留率に及ぼす影響

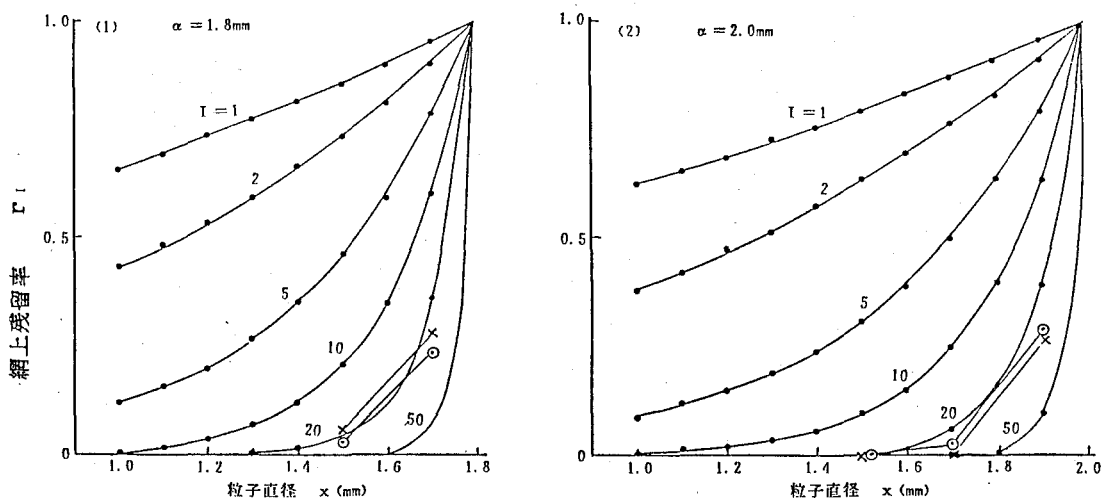


図4-15 粒子直径、試行数、スリット幅が網上残留率に及ぼす影響

は $\alpha = 1.80 \text{ mm}$ の場合であるが、 x/β が小さいため $\alpha = 1.9$ 、 2.0 mm でもほとんど変わらない。 x/α が 1 に近いと r_1 は急激に大きくなる。これは near mesh particle は選別されにくいことを示している。また、試行数が増すと部分分離効率は急激に低下する。

つぎに、同図を横軸に粒子直径 x を取って書き変えた (図4-15)。

(2) 分離粒度とスクリーン長の関係

部分分離効率 $r_1 = 0.5$ に対応する粒子直径を分離粒度と呼び $x_{0.5}$ で表わす。式

(4-6) より、

$$\begin{aligned}
 1_{n \ 0.5} &= -I \left(1 - \frac{x_{0.5}}{\alpha}\right) \left(1 - \frac{x_{0.5}}{\beta}\right) \\
 &\approx -I \left\{1 - \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta}\right) x_{0.5}\right\} \\
 \frac{0.693}{I} &= 1 - \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta}\right) x_{0.5}
 \end{aligned} \tag{4-8}$$

単位長さ当たりの試行数を ξ とすると、

$$I = \xi \ell \quad (4-9)$$

$$\therefore x_{0.5} = \frac{\alpha \beta}{\alpha + \beta} - \frac{\alpha \beta}{\alpha + \beta} \frac{0.693}{\xi} \frac{1}{\ell} \quad (4-10)$$

この式は $1/\ell$ に対し $x_{0.5}$ をプロットすると直線が得られ、その切片は $\alpha \beta / (\alpha + \beta)$ であり、勾配から単位長さ当たりの試行数 ξ を求めることができることを表わしている。

2. 実験

(1) 実験 1

B型シリンダにおけるスリット幅の影響を調べた試験（第Ⅱ章）での供給材料と網上産物の粒径分布から、各粒子径の網上残留率を計算して図4-15に記入した。その結果、スクリーン長が1,277mmでの試行数は、スリット幅によって若干異なるが、ほぼ20~40であると思われる。したがって、スクリーン単位長さ当たりの試行数は約15~30/mとなる。

(2) 実験 2

B型シリンダの網下産物回収箱にスクリーン長の1/5 ずつ (0.25m) に仕切りを設け、各ブロックごとに網下産物を回収し、その粒径分布をロータップシェーカーで調べた。その結果を表4-1 に示す。それから部分分離効率曲線を求める。その算出方法³⁷⁾は次の通りである。① 供給材料量と各ブロックの網下産物量を粒子径別に出す。② ①で求めたブロックごとの粒子径別網下産物量を、供給口からj番目のブロックまで累積する。③ ②で求めたj番目までの累積網下産物から、j番目の粒子径別の網上残留率を計算する。

求めた部分分離効率曲線（これはトロンプ曲線とも呼ばれている）を図4-16に示す。図から、供給口から各ブロックの中心までの距離 ℓ と $r_1 = 0.5$ に対応する $x_{0.5}$

表4-1 供給材料と各ブロックの網下産物の質量と粒径分布

ブロック ふるい目 (mm)	1	2	3	4	5	供給材料
[スリット幅 $\alpha = 1.80\text{mm}$]						
2.2~2.4	0 (%)	0.02 (%)	0.02 (%)	0.06 (%)	0.10 (%)	5.64 (%)
2.0~2.2	0.06	0.08	0.12	0.12	0.30	68.96
1.8~2.0	4.92	8.46	10.26	11.32	12.88	23.08
1.6~1.8	60.54	68.88	69.42	69.34	69.52	1.80
1.4~1.6	25.66	18.10	16.06	15.30	14.00	0.42
1.2~1.4	8.82	4.46	4.12	3.86	3.20	0.10
質 量 (g)	385	201	132	100	89	45000
[スリット幅 $\alpha = 1.85\text{mm}$]						
2.2~2.4	0	0	0	0.03	0.06	5.64
2.0~2.2	0.32	0.14	0.08	0.13	0.18	68.96
1.8~2.0	14.84	25.26	33.04	37.85	42.66	23.08
1.6~1.8	58.26	56.98	53.46	51.15	48.84	1.80
1.4~1.6	18.72	14.14	11.22	9.19	7.16	0.42
1.2~1.4	7.86	3.48	2.20	1.65	1.10	0.10
質 量 (g)	546	314	192	159	75	45000
[スリット幅 $\alpha = 1.90\text{mm}$]						
2.2~2.4	0	0	0.10	0.08	0	5.64
2.0~2.2	0.16	0.06	0.42	0.44	0.38	68.96
1.8~2.0	41.18	56.62	64.74	70.78	73.02	23.08
1.6~1.8	41.22	34.30	28.74	24.68	23.58	1.80
1.4~1.6	13.22	6.96	5.04	3.62	2.68	0.42
1.2~1.4	4.22	2.06	0.96	0.40	0.34	0.10
質 量 (g)	842	606	386	259	169	45000
[スリット幅 $\alpha = 2.00\text{mm}$]						
2.2~2.4	0.12	0.06	0.16	0.10	0.10	5.64
2.0~2.2	5.72	7.66	10.16	12.06	13.88	68.96
1.8~2.0	76.92	81.88	82.00	81.50	82.48	23.08
1.6~1.8	12.54	8.08	6.38	5.64	3.18	1.80
1.4~1.6	3.54	2.02	1.14	0.62	0.30	0.42
1.2~1.4	1.16	0.30	0.16	0.08	0.06	0.10
質 量 (g)	3117	2366	1703	1248	883	45000

(分離粒度)を読みとり、図4-17のように縦軸に $x_{0.5}$ 、横軸に $1/\ell$ をプロットする。結果はほぼ直線で近似できる。選別長さ ℓ が大きくなると、分離粒度が徐々に大きくなるのがわかる。直線の切片と勾配を図4-17に示した。切片は選別長さが ∞ の時の分離粒度であり、式 (4-10) で $\alpha\beta/(\alpha+\beta)$ に対応する。したがって、

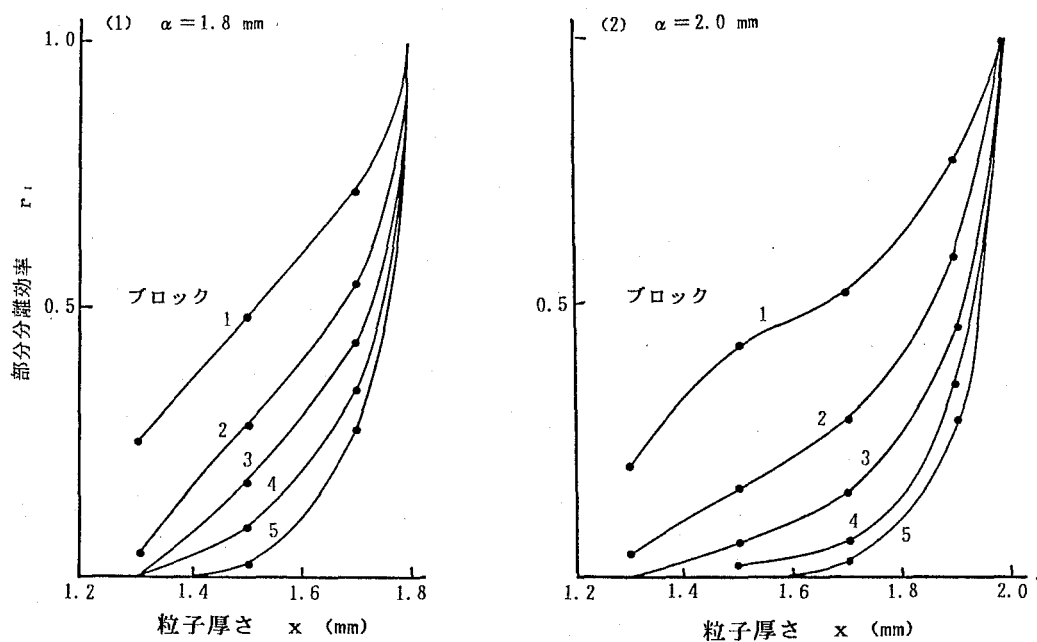


図4-16 部分分離効率曲線（トロンブ曲線）

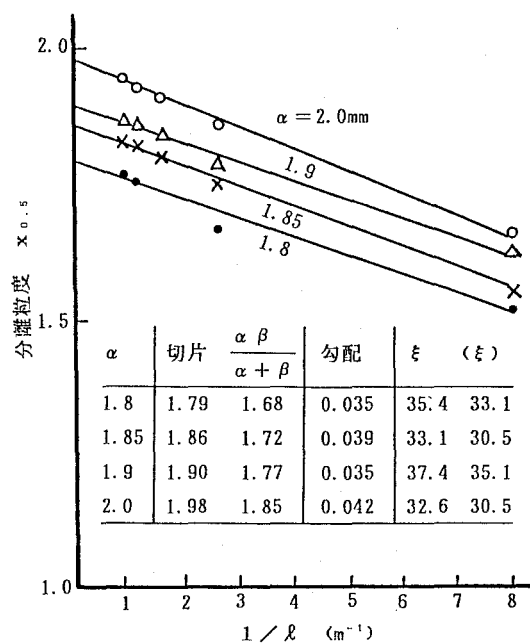


図4-17 分離粒度と $1/\lambda$ の関係

$$\text{切片} \times \frac{0.693}{\xi} = \text{勾配}$$

(4-11)

からスクリーン単位長さ当たりの試行数 ξ が算出できる。値を図4-17に示した。(正方形網目ではこの値は一定になる⁴⁴⁾。)

一方、 $\alpha\beta/(\alpha+\beta)$ は α 、 β から求めることができ、その値から求めた ξ を図4-17中に(ξ)で示した。それはグラフから求めたものより幾分低かった。 ξ の値はスリット幅にかかわらず、ほぼ一定の $30 \sim 35 \text{ m}^{-1}$ であった。スリット幅が変わってもシリンダ内の材料の運動状態が変わるわけでないので、一定値になるのは当然であると思われる。しかし、スリット幅を変えると選別状態が極端に変化する試験で、試行数が一定であることが確認できたのは意義のあることといえる。

ξ とスクリーン長からその時の試行数がわかる(式(4-9))。そこで、 ξ を用いてスクリーン長が0.5、1.0、1.5mの部分分離効率曲線をスリット幅別に数値計算した

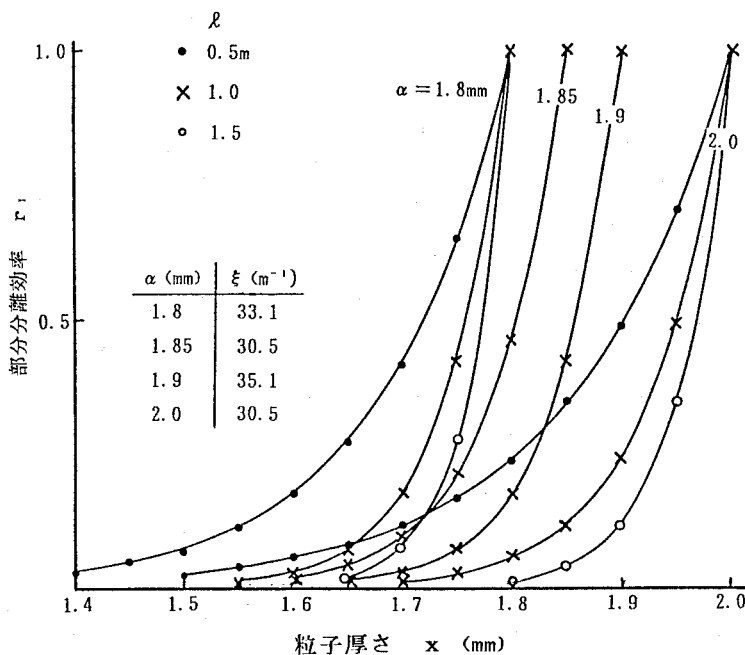


図4-18 スリット幅、粒子厚さ、スクリーン長と部分分離効率の関係

(図4-18)。スクリーン長が大きくなると、曲線の勾配が大きくなり、選別がよりシャープになる（選別精度が高くなる）のがよくわかる。

3. 選別速度係数 λ_a 、 λ_b 、 λ_c の関係

回転米選機において、シリンダの幾何学的因子、運転に関する因子がすべて同じ場合、サイズフラクション別の選別速度係数 λ_a 、 λ_b 、 λ_c の間には一定の関係が存在するのであろうか。もし存在し、関係が明らかになれば λ_a 、 λ_b 、 λ_c のうちの1つを測定すればよくなり、大変便利である。

試行数 I は単位長さ当たりの試行数 ξ_l 、単位時間当たりの試行数 ξ_t を使えば次のようになる。

$$I = \xi_l \cdot l = \xi_t \cdot t \quad (4-12)$$

$$V_f = l / t = \xi_t / \xi_l \quad (4-13)$$

式(4-7)、(4-12)より、

$$r_i = \exp \left\{ -\frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} \xi_t \cdot t \right\} \quad (4-14)$$

式(2-21)より、

$$\lambda_i = \frac{(\alpha - x)(\beta - x)}{\alpha \beta} \xi_t$$

式(4-13)より、

$$\lambda_i = \left(1 - \frac{x}{\alpha}\right) \left(1 - \frac{x}{\beta}\right) \xi_l \cdot V_f \quad (4-15)$$

サイズフラクション a 、 b 、 c に対して β は大きいので、 b の中央値1.5を代入すると、 $x/\beta = 1.5/25 = 0.06$ と一定になる。また、 $\xi_l \cdot V_f$ は同一運転条件の下で一定となる。

$$\therefore \lambda_i = (1 - x/\alpha) k \quad (4-16)$$

サイズフラクションとスリット幅を変えた時の相対サイズ x/α を表4-2 に示す。

いま、 $\alpha = 1.8\text{mm}$ とすると、

$$\begin{aligned}\lambda_a : \lambda_b : \lambda_c &= (1-0.94) : (1-0.83) : (1-0.72) \\ &= 0.06 : 0.17 : 0.28 \\ &= 1 : 2.8 : 4.7 \quad \text{となる。}\end{aligned}$$

これを図(2-19)(2-20)と比較すると、それほど離れてはいないと思われる。同様に、 $\alpha = 1.9$ 、 2.0mm の結果を表4-2 に示す。

以上は、同一運転条件でスリット幅と1つのサイズフラクションの選別速度係数が決まれば、ほかのものが決まることを示している。さらに、式(4-16)からスリット幅とその時のあるサイズフラクションの選別速度係数が決まれば k が決まるため、すべてのスリット幅におけるサイズフラクションの選別速度係数が決定される。したがって、次章(第V章)第1節の試験(スリット幅は 1.80mm)から求められる λ_a から、 λ_b 、 λ_c 、スリット幅 1.9 、 2.0mm における λ_a 、 λ_b 、 λ_c がすべて求められ、その任意の長さのシリンダのふるい分け効率が求められることになる。

なお、式(4-16)は λ_i と x/α の関係が直線であることを示している。それは第IV章のロータップシェーカでも同じ結果が現われている(図5-15)。これは長穴の時は直線になるのであって、正方形網目では2次曲線になる(文献16)の図2)。

表4-2 小粒のサイズフラクションとスリット幅を変えた時の相対サイズおよび $\lambda_a : \lambda_b : \lambda_c$ 。

スリット幅 α (mm)		1.8	1.9	2.0
i	(中央値)			
a	(1.6~1.8) 1.7	0.94	0.89	0.85
b	(1.4~1.6) 1.5	0.83	0.79	0.75
c	(1.2~1.4) 1.3	0.72	0.68	0.65

$\alpha = 1.8\text{mm}$ の時 $\lambda_a : \lambda_b : \lambda_c = 1 : 2.8 : 4.7$

$\alpha = 1.9\text{mm}$ の時 $\lambda_a : \lambda_b : \lambda_c = 1 : 1.9 : 2.9$

$\alpha = 2.0\text{mm}$ の時 $\lambda_a : \lambda_b : \lambda_c = 1 : 1.7 : 2.3$

第V章 各種選別方式の比較と総合考察

第1節 横型各シリンダの選別特性比較、2段選別

1. 横型各シリンダの選別特性比較

(1) 目的

これまで、各種のシリンダの選別特性を個々に調べてきた。本試験は同一ロットの材料を使って同一条件 ($N^* = 1.0$ 、 $\theta = 4^\circ$) で、各シリンダの材料供給量に対する選別特性の比較を行う。

(2) 方法

供試シリンダは直径に応じて次の3種に分けた。

普通直径シリンダ (シリンダ直径 30cm 前後)

大 直径シリンダ (シリンダ直径 35cm 以上)

小 直径シリンダ (シリンダ直径 25cm 以下)

シリンダの諸元は表5-1 の通りである。大直径シリンダの長さは普通直径シリンダと

表5-1 シリンダの諸元

シリンダ 型 式	直径 分類	シリンダ直径 D	臨界回転数 N _c	シリンダ 断面形状	スクリーン 面 形 態	スクリーン長 ℓ。	攪 拌 棒 n d δ	スリット幅 m σ
A	普 通	280 mm	79.9 rpm	円	平	1250 mm	—	1.850mm0.011mm
B		288	78.7	円	波	1277	—	1.849 0.011
C		280	79.9	8角	平	1218	—	1.834 0.029
D		278	80.2	8角	波	1284	—	1.833 0.008
A-3		280	79.9	円	平	1250	3 14 15	1.850 0.011
B φ428	大	428	64.6	円	波	1276	3 5 15	1.849 0.015
D 10角		350	71.5	10角	波	1284	—	1.823 0.010
A-3 φ480		480	61.0	円	平	1250	3 14 15	1.798 0.021
A-3 φ384		384	68.2	"	"	"	3 14 15	1.847 0.015
A-3 φ210	小	210	92.2	"	"	400	3 9 10	1.828 0.021
A-3 φ140		140	113.0	"	"	"	3 9 10	1.818 0.026

ほぼ同じで、小直径シリンダの長さは 0.4m と短い。B型大直径シリンダは細い攪拌棒を 3本つけている (3- ϕ 5-15)。すべてのシリンダには目づまり防止板を付けており、供給材料の y_F は 3.87 %である。

(3) 結果および考察

a ふるい分け効率 u_s 、網上産物中小粒含有率 y 。

u_s 、 y 。(図5-1(1)(2))は定常状態での選別精度を示している。小直径シリンダで選別精度が低いのは、スクリーン長が 0.4m と短かいためである。

b 選別速度係数 λ_a 、ふるい分け効率 E_a^*

λ_a 。(図5-1(3))はサイズフラクション a についての選別のし易さを表すものであり、スクリーン長とは無関係の値である。 Q が小さいほど λ_a は大きな値を示している。 E_a^* はスクリーン長がシリンダ直径の 4倍の時のサイズフラクション a のふるい分け効率である。小、普通、大直径シリンダの E_a^* は、それぞれ $Q=10$ 、20、40kg/minでほぼ等しい値 ($E_a^*=0.7$) を示している。

c シリンダ単位長さ当たりの滞留量 w

各シリンダの w と Q の関係を図5-2 に示した。 w は Q にほぼ比例して大きくなるが、 Q が大きくなると若干 w は低下する傾向がある。

2. 2段選別

(1) 目的

1本のシリンダで選別する時、選別精度を上げようとすると材料供給量を下げなくてはならず、逆に能率を上げようとすると選別精度が下がるのが普通である。選別の能率と精度をともに上げる方法はないものであろうか。ここで 2段階で選別する方法を検討する。まず、第 1段階では選別したい小粒の大きさより、かなり大きな幅のスリットを有するシリンダを使い粗選別する。この選別により、選別したい小粒の大部分が網下産物となる (図2-52で明らかなように、小粒の大きさとスリット幅の差が大

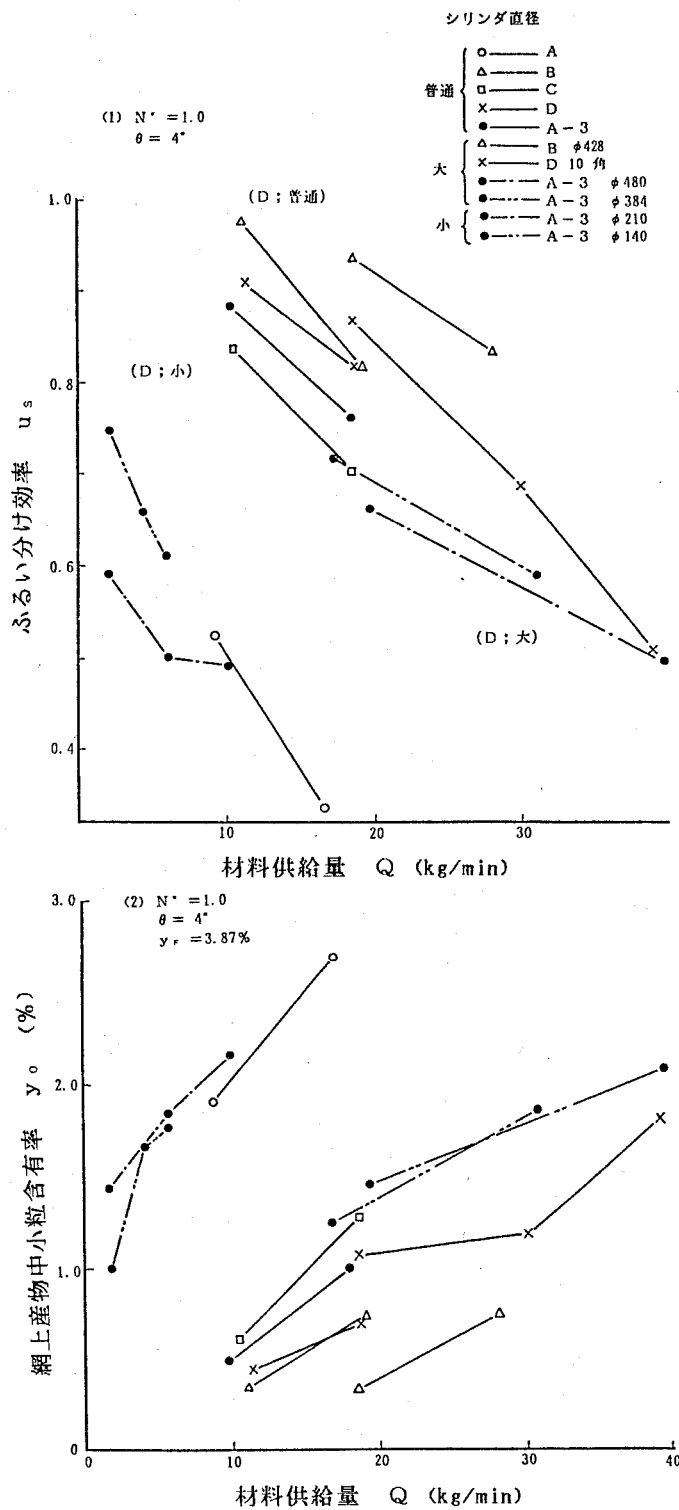
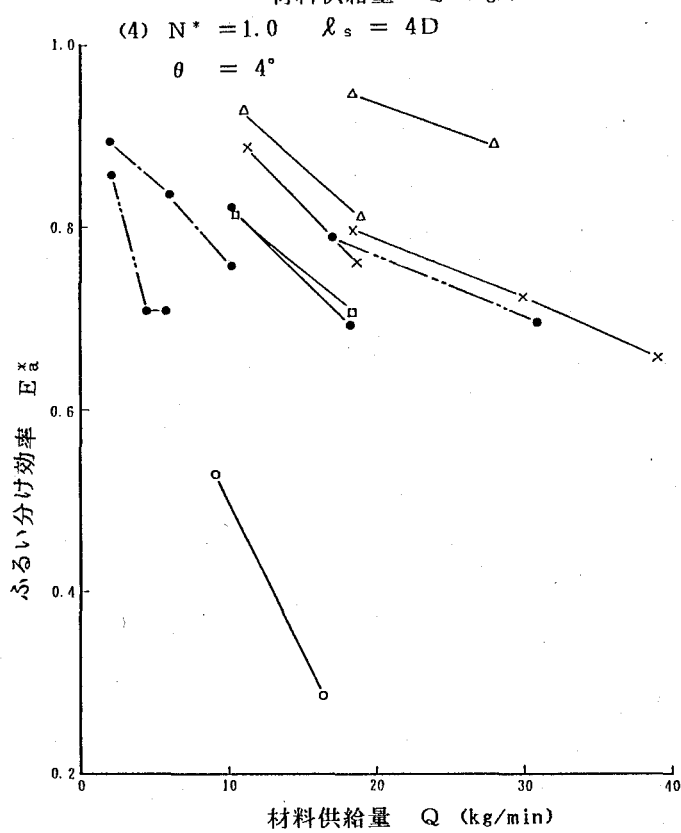
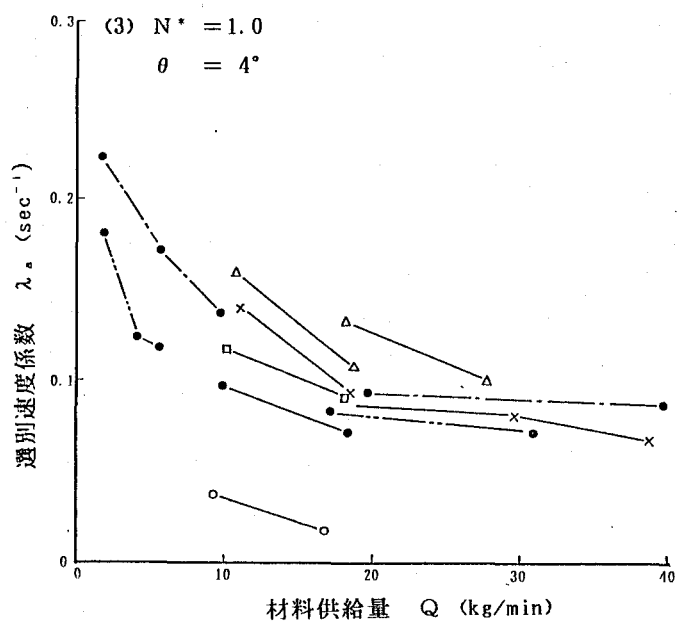


図5-1 各シリンダの選別特性



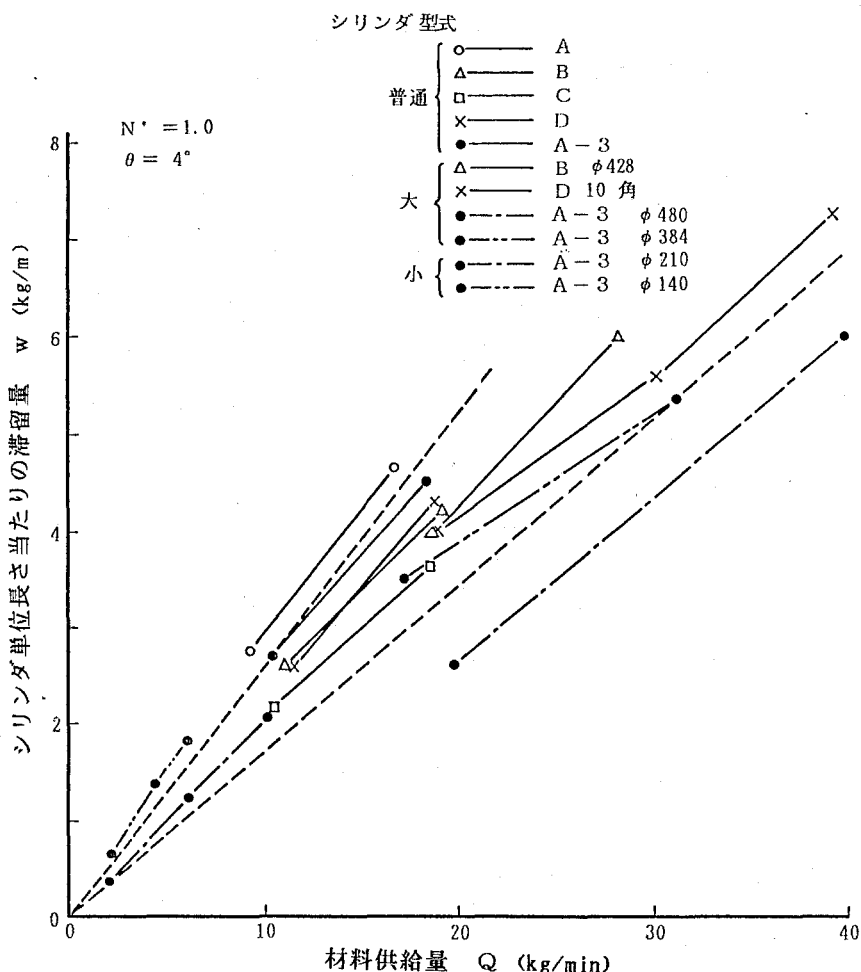
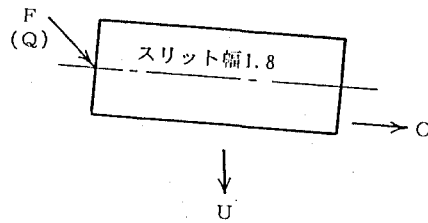


図5-2 各シリンダでのシリンダ単位長さ当たりの滞留量と材料供給量の関係

きいと選別され易い)。このシリンダは能率を上げるために大直径のものが望ましい。つぎに、その網下産物を第2段階目のシリンダに供給する（このシリンダは選別したい小粒幅と同じスリット幅にする）。第1段階の網下産物は、供給材料量に比し格段に少ないので、第2段階目のシリンダは材料供給量が小さく、小直径のものでよい。図5-3に1段選別と2段選別の模式図を示した。

(1) 1 段選別



(2) 2 段選別

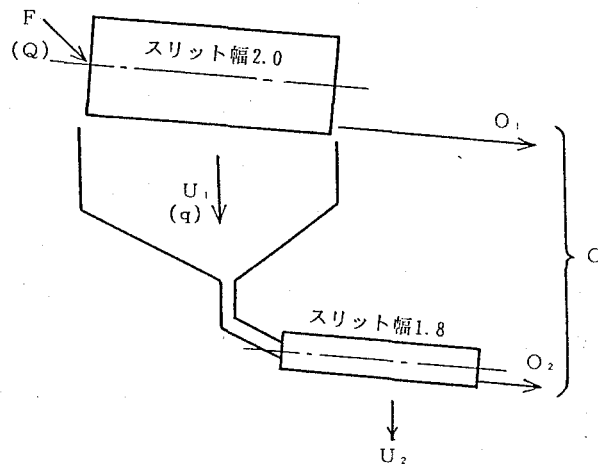


図5-3 1 段選別と 2 段選別の模式図

(2) 方法

2段選別の実験に使用したのは、第 1 段目としては D 型 10 角形シリンダ (スリット幅 2.00mm) で、第 2 段目としては A-3 型 $\phi 140$ シリンダ (スリット幅 1.80mm) である。各シリンダはすべて $N^* = 1.0$ 、 $\theta = 4^\circ$ で運転した。2 段選別は本来図 5-3(2) に示すように、1 段、2 段が同時に行われるべきものであるが、本実験では各段階を分けて行った (図 5-4)。

実験手順は、

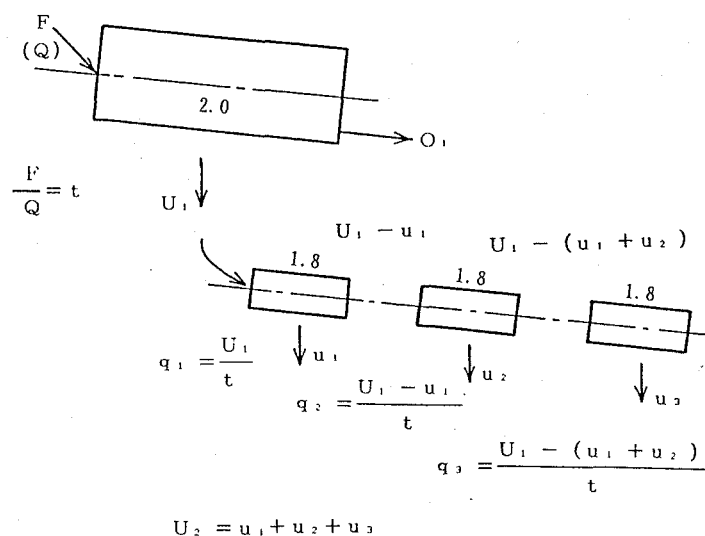


図5-4 2段選別の実験方法

- ① 大直径シリンダに材料F (kg)を供給量Q (kg/min)で供給し、網下産物 U_1 (kg)を回収する。材料供給時間（選別時間）は $t = F/Q$ (min)である。
- ② U_1 を供給量 q_1 ($= U_1 / t$)で図5-4の小直径シリンダ連続選別装置（スクリーン長 0.4m）に供給する。その網上産物 $U_1 - u_1$ を、再度同じシリンダに供給量 q_2 ($= (U_1 - u_1) / t$)で供給する。これを繰り返す。2段目の網下産物 U_2 は $U_2 = u_1 + u_2 + u_3 + \dots$ となる。

(3) 結果および考察

材料供給量が 30、40 kg/min における 2段選別のふるい分け効率 u を図5-5に示す。これを 1段選別と比較した。この 1段選別は、2段選別の 1段目のシリンダと同種で、スリット幅が 1.80mmのものを使用した選別である。すなわち、

1段選別 D型10角形シリンダ（スリット幅1.80mm）

2段選別 第 1段目 D型10角形シリンダ（スリット幅2.00mm）

 第 2段目 A-3型 $\phi 140$ シリンダ（スリット幅1.80mm）

$$N^* = 1.0 \quad \theta = 4^\circ$$

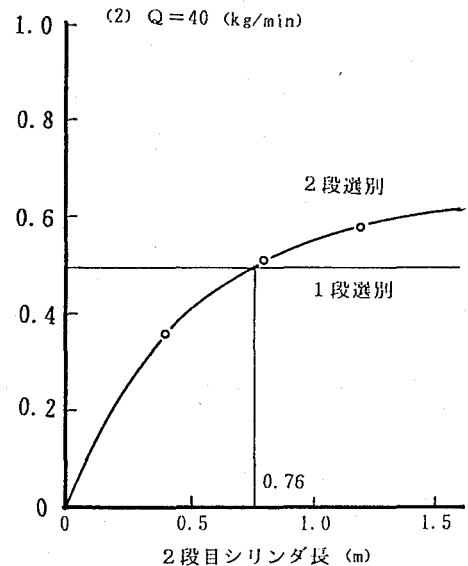
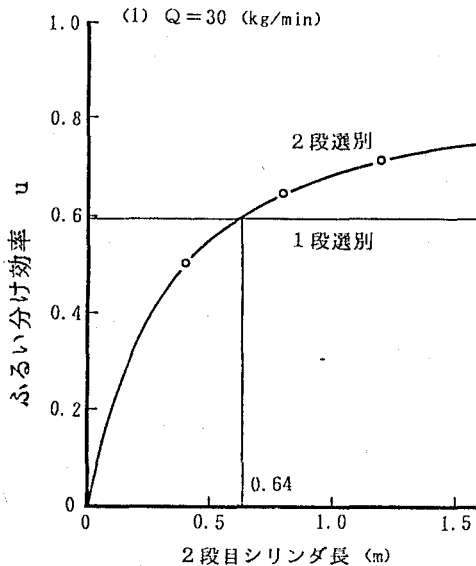


図5-5 2段選別と1段選別の比較

材料供給量が30kg/minでは、2段選別は1段選別を2段目シリンダ長0.64mで上まわった。一方、40kg/minでは0.76mで上まわった。

第1段目のシリンダは、小粒(1.80mm以下)を100%網下産物とし、しかも能率の高いものでなければならない。スリット幅を2.00mmとすると、シリンダ長が1.3m前後で小粒のほぼ100%を選別していると思われる。能率を上げるにはシリンダ直径が大きいものが良い。例えば、A-3型 $\phi 480$ シリンダが望ましかったが、販売中止のため入手できなかった。そのため、少し直径の小さいD型10角形を使用した。2段目のシリンダは、選別時間を大きくするためには長くすればよい。しかし、2段目シリンダの w が小さいので、 θ を 4° より小さくするのも1つの方法である。その時はスクリーン長を短かくすることも可能になる。

第2節 網上産物の品質検査、スリット幅の経済性

1. 網上産物の品質検査

我が国の米は食糧事務所の検査を受けて流通している。そこで、製品としての網上産物の検査を食糧事務所に依頼した。

(1) 方法

スリット幅、材料供給量を変えて玄米の選別を行い、その網上産物のサンプルについて処理方法、順番を明らかにしないで、農林水産省山形食糧事務所鶴岡支所に検査を依頼した。なお、材料は山形大学農学部附属農場産のササニシキである。

(2) 結果

横型米選機の検査の結果を表5-2 に示す。参考のために、筆者が測定した網上産物中小粒含有率 y (1.80)。を付記した。整粒歩合は次式で表わされる。

表5-2 横型回転米選機においてスリットと供給速度を変えた時の網上産物の品質検査結果
(農林水産省山形食糧事務所鶴岡支所に依頼)

実験年	スリット幅 (mm)	Q (kg/min)	整粒歩合 (%)	未熟粒 (%)	被害粒 発芽 (%)	被害粒 その他 (%)	死米 (%)	等級	y (1.80)。 (%)
1985	1.7	15	72	18	6	2	2	1	1.94
		20	73	20	4	1	2	1	2.24
	1.8	15	71	18	5	3	3	1	0.93
		20	73	20	4	2	1	1	1.12
	1.9	15	75	17	5	2	1	1	0.10
		20	72	21	5	1	1	1	1.29
	2.0	15	78	16	4	2	0	1	0.08
		20	76	18	4	2	0	1	0.15
1986	1.80	15	70.0	27.0	2.0		1.0	1	0.718
		15	72.5	25.0	2.0		0.5	1	"
	1.85	15	71.5	26.0	2.0		0.5	1	0.232
		15	72.5	25.5	2.0		0	1	"
	1.90	15	72.5	24.0	3.5		0	1	0.122
		15	74.5	23.0	2.0		0.5	1	"
	2.00	15	78.0	18.5	3.5		0	1	0.033
		15	76.0	22.0	2.0		0	1	"

(注) 実験条件：B型シリンダ、 $\theta = 4^\circ$ 、 $N=1.0$

$$\text{整粒歩合} = 100 - (\text{未熟粒歩合} + \text{被害粒等歩合})^{14)} \quad (5-1)$$

1等米の基準は整粒歩合が70%以上である⁷⁹⁾。本試験ではすべてのサンプルが1等米になった。表5-2の一部を図5-6に表わした。米の品質は整粒歩合で示されるが、それには未熟粒、被害粒が影響する。被害粒は粒径とは関係が少ないと思われるので、スリット幅と未熟粒歩合の関係を図示した。表5-3は縦型米選機の検査結果で、その一部を図5-7に示した。図5-6、5-7から共通していえることは、スリット幅が大きくなると $y(1.80)$ は確実に低下しているのに対し、未熟粒歩合は低下の割合が小さく、スリット幅2.0mmにおいてもなお15~20%の未熟粒が含まれていることである。これは若干注意を要する点である。食糧事務所の話では①食糧庁の未熟粒の基準は図5-8の通りである。したがって、未熟粒は大きさとは無関係である。②1点20gを肉眼で検査している。③検査したサンプルには腹白粒、乳白粒が多かった、とのことであった。以上の試験は山形大学農学部附属農場の米のみを使ったものであり、さらに、色々な材料で検討すべきであるが、一応次のことがいえる。

表5-3 縦型米選機の網上産物の品質検査結果
(農林水産省山形食糧事務所鶴岡支所に依頼)

年度	No.	スリット幅 (mm)	Q (kg/min)	整粒歩合 (%)	未熟粒 (%)	被害粒 (%)	死米 (%)	等級	$y(1.80)$ (%)
1985 *1	1	供給材料		64	26	4	6	2	—
	2	1.75	20	76	16	5	3	1	1.84
	3	1.80	10	76	16	4	4	1	0.93
	4	"	20	75	16	4	5	1	1.35
	5	"	30	68	24	2	6	2	1.72
	6	"	40	70	22	3	5	1	1.78
1986 *2	1	供給材料		71.5	23.5	3.0	2.0	1	—
	2	1.80	20	72.0	26.0	1.0	1.0	1	1.1
	3	1.85	"	72.5	25.5	1.5	0.5	1	0.61
	4	1.90	"	77.0	21.0	1.5	0.5	1	0.36
	5	1.95	"	73.0	23.0	4.0	0.0	1	0.36
	6	2.00	"	74.0	22.5	2.5	1.0	1	0.35

*1 H_c 、 $N_H = 300\text{rpm}$ 、 $N = -75\text{rpm}$ 、 $y_F = 4.12\%$

*2 " " " " $y_F = 3.31\%$

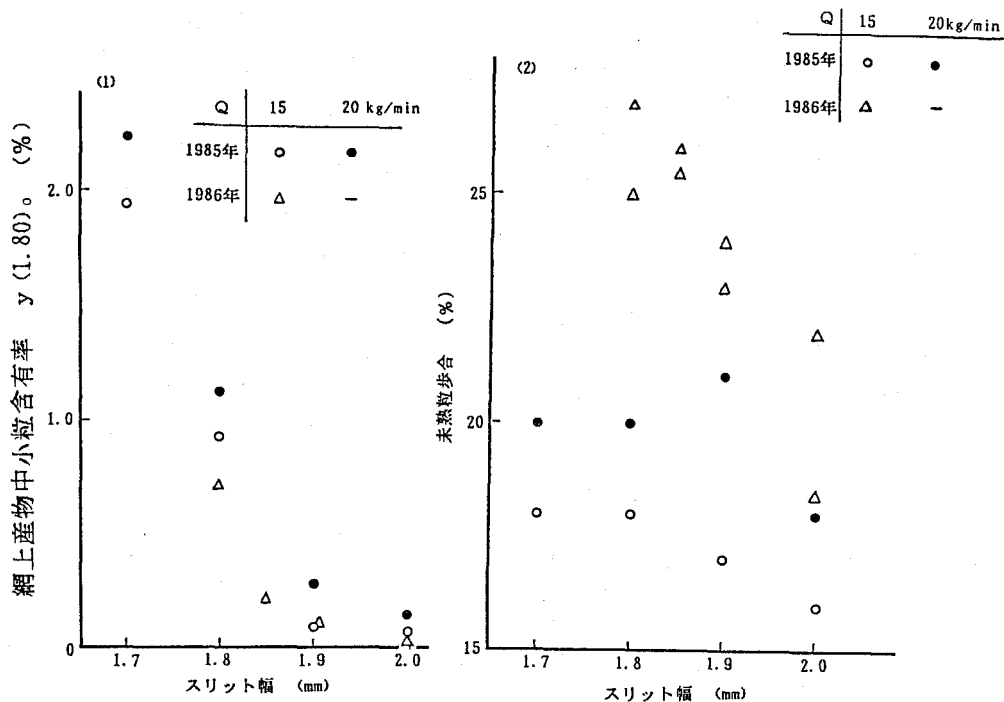


図5-6 横型米選機の網上産物の検査

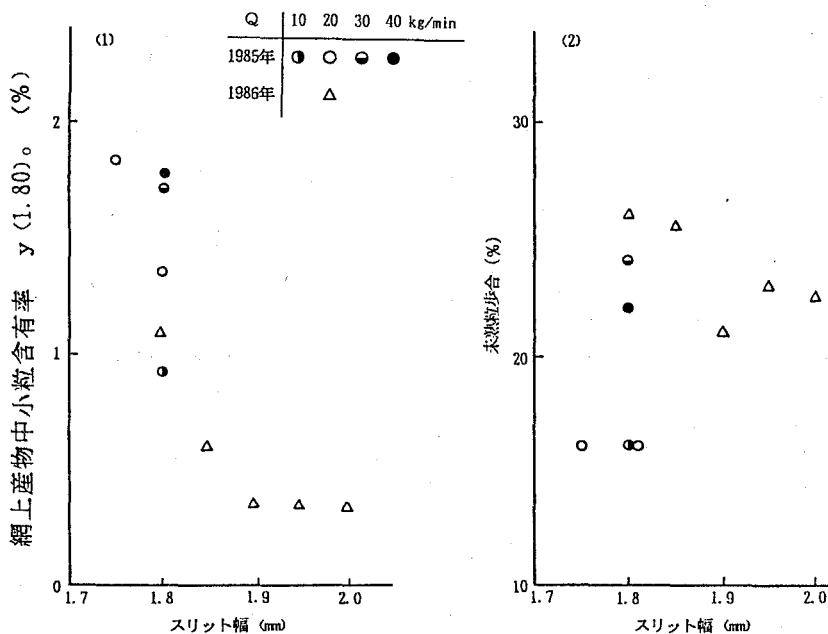


図5-7 縦型米選機の網上産物の検査

未熟粒

1. 乳白粒・・・胚乳部に白色不透明な部分のあるもので粒に光沢のあるもの
2. 青未熟粒・・・米粒に葉緑素が残って緑色を呈している粒
3. 基部未熟粒・・・米粒の基部に白色不透明な部分のある粒
4. 腹白未熟粒・・・米粒の腹部に白色不透明な部分のある粒
5. その他の未熟粒・上記1～4以外の成熟していない粒で、被害粒、死米を除いたもの。成熟していない粒とは粒が偏平であるもの、縦溝が深いもの、皮部の厚いもの等である。

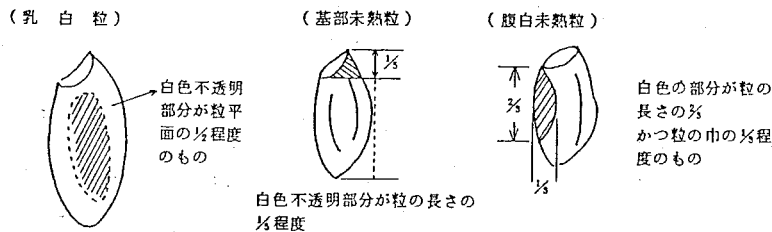


図5-8 未熟粒（食糧庁による）^{70）}

- ① 食糧事務所の検査はふるいを全く使用せず、肉眼のみで行っている。肉眼鑑定の個人差、再現性、妥当性の検討が必要であろう。
- ② スリットにより選別を行なう米選機では、取り除けない未熟粒があることが明らかになった。乳白粒、腹白粒を少なくするような育種上、栽培上の検討が必要である。

2. スリット幅の経済性

米選作業では、シリンダのスリット幅の選択が極めて重要である。スリット幅の大きなシリンダを使用すれば、高品質の精玄米が得られるが、屑米が多くなり、スリット幅が小さいと逆になる。そこで、スリット幅の異なるシリンダを使った時の経済性を比較するために、未選別の玄米（粳すり機の1番口から出たもの）100kgを各スリット幅のシリンダで選別した時の農家の手取り金額を計算した。

(1) 玄米の単価について

現在、玄米は大きく分けて政府米、自主流通米、屑米の形で流通している。農家がい
それらを出荷する時の単価を表5-4 に示す。当山形県庄内地方の水稲作付面積は
33,500haでササニシキの作付けは96%（昭和60年）である。ササニシキは政府米では
1類に属す。庄内経済連ではササニシキの 1、2 等米はすべて自主流通米扱いにして
いる。自主流通米は昭和61年産米の金額が未定のため前年度のものである。丸自メリッ
ト（政府米との格差）は60kg当たり3,257 円となっている。庄内経済連では庄内ササニシ
キの品質向上のため、昭和61年度は自主仕分けを行い、1 等米を次の 2つに分けてい
る。すなわち、整粒歩合が75%以上を 1等米とし、70～75%をⅠの 1等米とし、1 等
米より60kg当たり320 円安くしている。屑米は ℓ 重によって 5段階に分かれている。

表5-4 生産者米価（政府米、自主流通米、屑米）

政府米 (S. 60, 61)	1 等	18,905円/60kg
	2	18,585
	3	17,185

（注）1類（ササニシキ）、正味

自主流通米 (S. 60)	1 等	22,162円/60kg *1
	2	20,642
	3	なし

（庄内経済連調べ）

（注）ササニシキ、正味、農家手取り

*1 S. 61は庄内経済連の自主仕分けにより整粒歩合が75%
以上を 1 等とし70～75% のものはⅠの 1 等とし、1 等
より320 円安くなる。

（ ℓ 重）

屑 米 (S. 60)	特A	別途定める*1	4,500～6,000 円/30kg
	A	730 g 以上	2,670
	B	690 ～ 729	2,370
	C	630 ～ 688	1,920
	外	629 以下	1,320

*1 3等にならないもの、品質により決まる

(2) スリット幅と農家収入の関係

表5-5 は、未選別の玄米100kg を各スリット幅のシリンダで選別した時の農家の手

表5-5 スリット幅を変えた時の経済性
(未選別米100kgを各スリット幅のシリンダで選別した時の農家の手取り金額)

スリット幅 (mm)	U/F (%)	上玄米量 (kg)	等級	単価 (円/kg)	A		屑米量 (kg)	等級	単価 (円/kg)	B		A+B (円)
					上玄米金額 (円)					屑米金額 (円)		
1.80	2.8	97.2	I-1等	364	35,381		2.8	C	64	179		35,560
1.85	3.8	96.2	"	"	35,017		3.8	C	64	243		35,260
1.90	5.8	94.2	"	"	34,289		5.8	B	79	458		34,747
2.00	22.4	77.6	1等	369	28,634		22.4	A	89	1993		30,623

取り金額を示している。上玄米量、屑米量は図2-52の網下移行率から出した。等級は食糧事務所の検査結果(表5-2)の整粒歩合から決めた。結果は、スリット幅が1.80mmから1.90mmまで変化すると金額が漸減し、2.00mmでかなり低くなった。

以上の試算は、腹白米、乳白米が比較的多いが、登熟が良く、小粒が少ない材料で行ったものであり、スリット幅を1.80から1.90mmに変えても等級の差は出なかった。試算により言えることは、次の点である。①さらに、色々な材料で試算する必要がある。②1等とⅠの1等の格差は、以上の試算のみからはいくらがよいかは決められないが、現行の320円よりは大きくすべきであろう。

第3節 縦型と横型の選別精度の比較

縦型米選機の選別精度を、従来から使用されている横型の1機種と比較するために、同一材料を縦型に、ついで、横型に供給して選別を行った。縦型のスクリーンは円形、波形であるので、横型にはスクリーンが同じB型を選んだ。B型のスクリーン直径はφ288で、縦型とほぼ同じである。両型の試験条件は図5-9に示した通りで、スリット幅は共に1.80mmである。図では、縦型米選機の選別精度は横型よりわずかに低かった。しかし、スクリーン長が横型(1.277m)の約1/2であることから考えると、縦型の選別能力は極めて高いといえる。さらに、横型と異なり供給量が高くても作業が可能

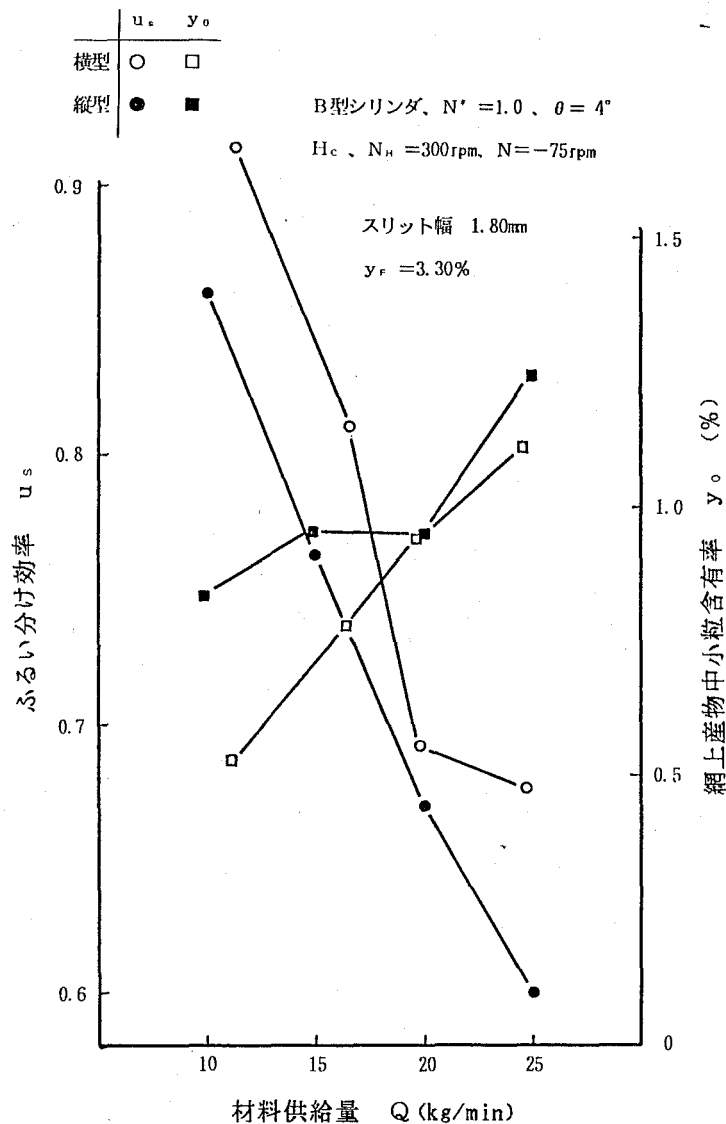


図5-9 横型と縦型の選別精度比較

である ($Q=40\text{kg/min}$ の値が表5-3にある)。この理由は次の通りである。

すなわち図3-7に示したように、横型では Q が0の時は w は0で、 w は Q にほぼ比例して増大する。 V_r はほぼ一定、 t もほぼ一定となる。したがって、 Q が大きくなると w が大きくなり、ふるい分け効率が極端に低下する。一方、縦型では Q が0の時

でも一定の滞留量が必要であるが、 Q が大きくなっても w は徐々にしか大きくならないので、選別の低下は少ない。それは、縦型では材料がシリンダの全周に分布しているためである。例えば、 $N_H = 300\text{rpm}$ の時、 $Q = 10, 40\text{kg/min}$ での w は $7.1, 11\text{kg/m}$ であり、シリンダの円周 $0.892\text{m} (= 0.284 \times \pi)$ からシリンダ単位面積当たりの滞留量 w' は $8.0, 12.3\text{kg/m}^2$ となる。さらに、玄米の密度($8.4 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^3$)から、スクリーン上の材料の平均厚さは $9.5, 14.6\text{mm}$ となり、これは確かに横型に比べて小さい。以上は Q が大きい時であるが、 Q が小さい時は選別時間が急激に長くなり(図3-8)、選別精度を維持している。

第4節 試験用選別機（ロータップシェーカとテストグレーダ）について

回転米選機の各条件下での選別精度を調べるために、供試材料、網上産物、網下産物の粒径分布および小粒含有率を知ることが必要である。そのために、水平振動で選別を行うロータップシェーカ⁶⁾⁷⁾および回転運動で選別を行うテストグレーダ⁶⁾⁷⁾を使用した（これらは共に回分式選別機である）。そこで両選別機の選別特性を調べた。

1. ロータップシェーカ

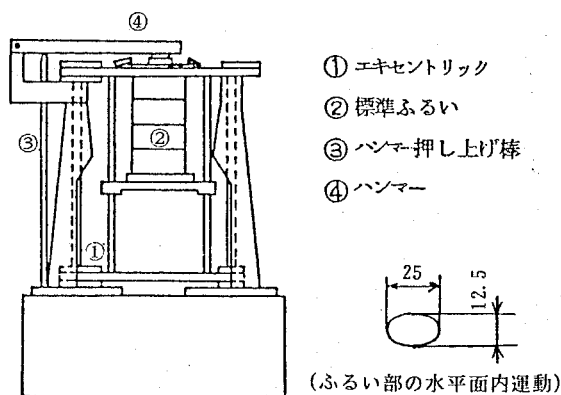


図5-10 ロータップシェーカ

ロータップシェーカは、数個重ねた標準ふるい（ふるい直径 120mm、スクリーンのスリット長さ 16.5mm、幅1.4、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4 mm）を振動することにより粉粒体を選別するもので、その構造を図5-10に示す。ふるいのスリットを上から順に小さくし、最上段に材料を供給すると、1度に数部分に分類することができる。ふるい部は長軸25mm、短軸12.5mmの楕円の水平運動をし、その振動数は290cpmである。目づまり防止のためのハンマー④が取り付けられ、その衝撃数は156tap/ min である。

2. テストグレーダ

テストグレーダは、水平にセットされた 8角形のスクリーン（D型米選機のスクリーンと同じ）からなり、粉粒体を回転により選別するもので、その構造は図5-11の通りである。スクリーンの回転数は67rpm で、スリット幅1.75、1.80、1.85、1.90、2.00mmのスクリーンが準備されている。これは、ライスセンタにおいて搬入された玄米の品質検査のための選別に用いられている。

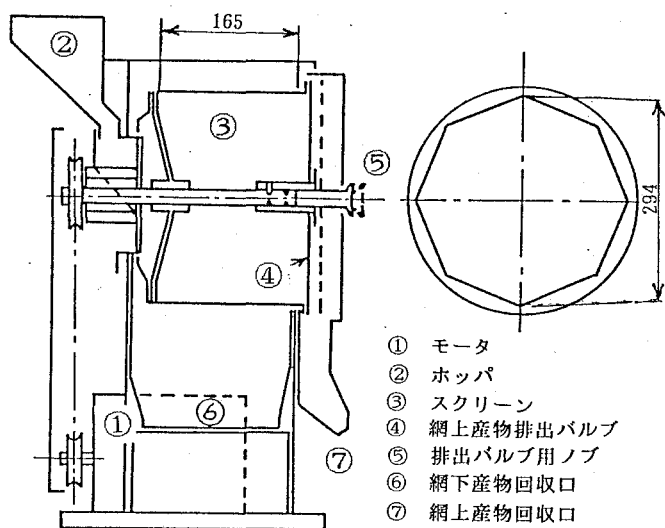


図5-11 テストグレーダ

3. 試験の目的

これらの機械の使用条件（供給材料量と選別時間）については、当初基準といったものではなく、予備テストによって筆者が独自に、ロータップシェーカでは2.2mm ふるい上に50g 供給し、5分振動（ふるいのスリット方向を振動方向（楕円の長軸）にあわせる⁷⁷⁾。）、テストグレーダについては500g、5分に決めて選別を行った。その後、テストグレーダについては1984年に農機学会として基準（67rpm、100g、10秒）が提案され決められた³⁴⁾。そこで、テストグレーダについては筆者の定めた条件と学会の基準との関連を明らかにするために、またロータップシェーカについては基準作りの基礎データを得るために、供給材料量と選別時間の検討を行った。

4. 供給材料量と選別時間が選別精度に及ぼす影響

(1) ロータップシェーカ

籾すり機から出た玄米 30kg から10、20、50、100gをサンプリングして、2.2mm ふるい上に供給し選別時間を変えて選別した。その際、1つのサンプルで網下産物量を経時的に求める方法があるが、それは各時間ごとに網下産物量を測定するために機械を停止させなくてはならず、その時のショックの影響がさけられないので、1つのサンプルに対してある選別時間の測定を1回だけ行った。

図5-12は網下移行率 q （ふるい1.80mmの網下産物質量／供給玄米質量）を表わす。20、50、100gでは選別時間の増大に伴い q は高くなり、いずれの場合も $q = 3\%$ に達している。しかも少量の時ほど短時間で達している。これは、供給量は20～100gのいずれでもよいが量が少ないほど選別は速やかに行われ、量が多い時は選別時間を長くしなければならないことを示している。一方、10g と20g を比較すると、選別時間0.5分から1分にかけて、量が多い20gの方が上昇し10gが頭打ちになっている。これは、供給材料量が少なすぎると材料がスクリーンの上を跳躍し攪乱流動⁷⁷⁾ となり、選別作用が低下するためと考えられる。

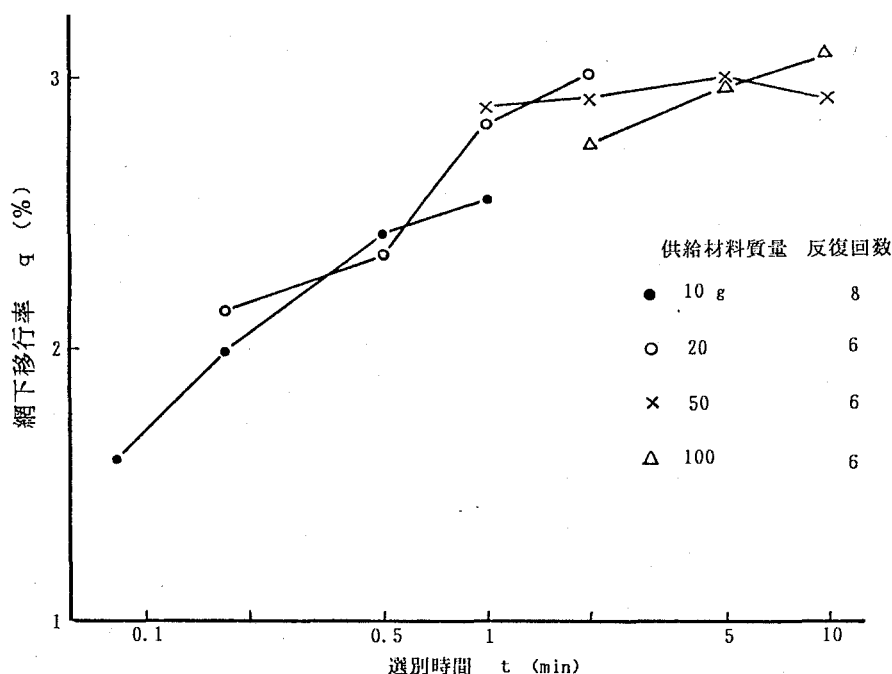


図5-12 ロータップシェーカによる選別の網下移行率

(2) テストグレーダ

先に示したロータップシェーカの試験で使ったのと同じロットの材料から、20～1000g をサンプリングし、選別時間を変えて網下移行率を調べた。

ロータップシェーカの試験と同様に、1つのサンプルに対してある選別時間の実験を1回だけ行った。実験結果の平均を図5-13に示す。 $q = 3\%$ に達しているのは200、500、1000gである。一方、20、50、100gはすべて選別時間増大で q の上昇の頭打ちが見られ、少量ほど q は低くなっている。材料はシリンダ内で上昇、下降を繰り返すが、下降してスクリーンとぶつかる部分で材料量が200g以下では跳躍が観察された。少量で選別が悪いのはこの跳躍が原因である。

筆者の基準(500g、5分)では、ロータップシェーカでの q のレベル(3%)に達しているが、学会基準(100g、10秒)では $q \approx 2.5\%$ で、レベルとしては低い値にな

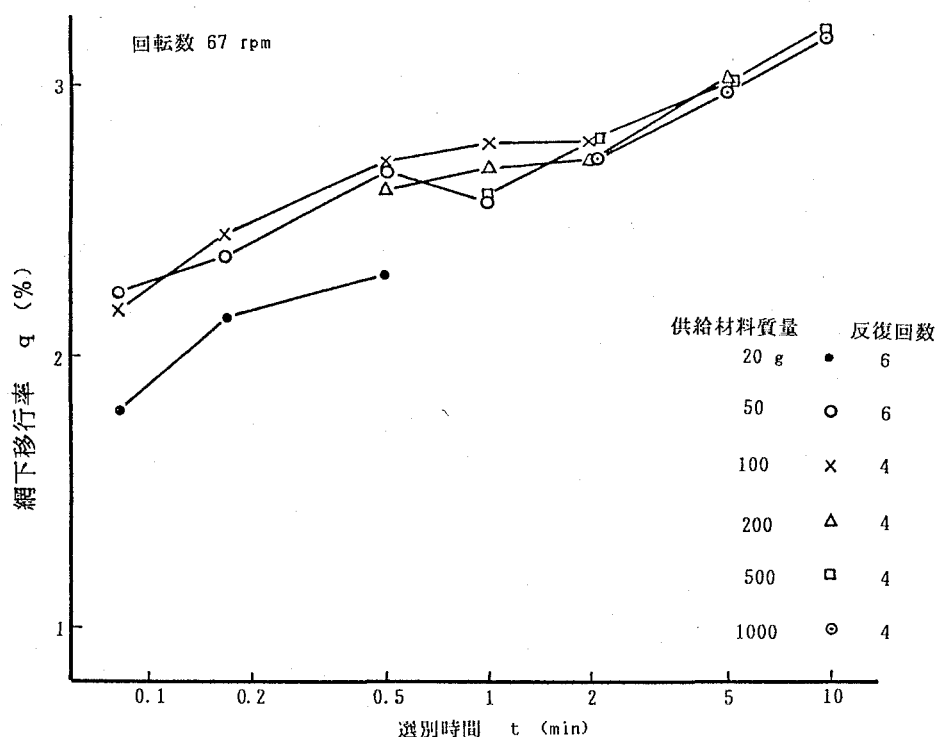


図5-13 テストグレーダによる選別での網下移行率

っている。これは、選別時間が筆者の基準と比べてはるかに短かいたために、しかたがないと思われる。後藤^{2,3)}も述べているように、いかなる目的でテストグレーダを使うかによって使用方法が異なる。少量の材料の小粒含有率を出したい時は少量のサンプルでよいが、大量の材料の小粒含有率を調べる場合には、少量のサンプルを多数取るよりも、材料全体から一様に少量ずつサンプリングし、混合し、比較的大量にしたものを1回で処理した方が、たとえ、選別時間の合計が少々長いとしても、全体の手数からみれば合理的であると思われる。使用目的にはいろいろあるが、ライスセンタで搬入された玄米の品質をチェックするためなら、相対的な品質が判定できればよいので、選別基準が一定でありさえすればよい。一方、試験研究の場合は小粒の絶対量が必要であるので、網下産物量が網下成分量と一致する選別条件が必要になってくる。

以上の試験では供給材料量が小さい時（20～100g）、材料の跳躍のために網下移行率は低くなった。そこで跳躍を少なくするために、シリンダ回転数の低い場合の実験をした。結果を図5-14に示すが、シリンダ回転数と選別精度の関係はそれほど明確にはわからなかった。

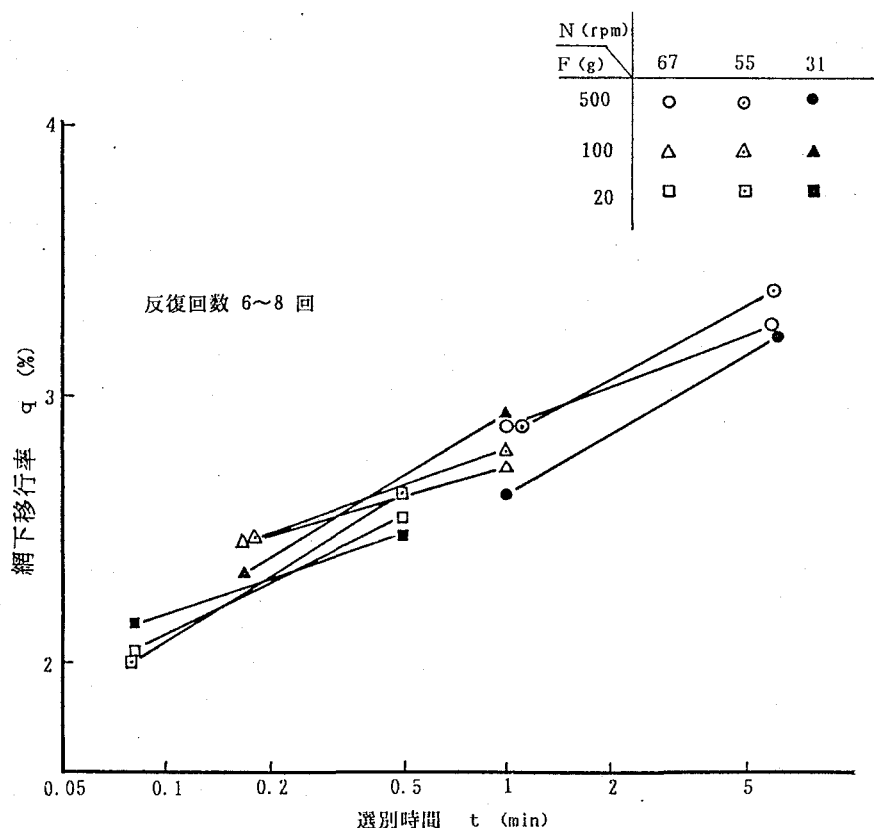


図5-14 テストグレーダによる選別（シリンダ回転数の影響）

5. 相対サイズと選別速度係数の関係

(1) 目的

小粒の厚さ x とスリット幅 α は、共に選別の容易さに影響する。そこでロータップシェーカを用いて x 、 α 、相対サイズ x/α と選別速度係数 λ の関係を求める。

(2) 方法

- ① B型回転米選機とロータップシェーカを用いて、大粒 ($>2.0\text{mm}$)、小粒 d ($1.8 \sim 2.0\text{mm}$)、a ($1.6 \sim 1.8\text{mm}$)、b ($1.4 \sim 1.6\text{mm}$)、c ($1.2 \sim 1.4\text{mm}$) を作り、サンプリングによってそれぞれの平均粒厚を求める。
- ② 小粒と大粒を混合攪拌し、50g と100gの試料を作る (小粒含有率3%)。
- ③ 小粒とスリット幅の組み合わせは表5-6 の通りである。
- ④ 上記試料をロータップシェーカのスクリーンに供給し、一定時間振動し、網下産物を計量する。選別時間は試料中の小粒の約半量が網下産物となる時間にする。
- ⑤ 式 (2-20) から選別速度係数を求める。
- ⑥ スリット幅2.0mm の時は大粒が若干選別されるので、小粒を入れない試料で予備テストして補正する。
- ⑦ 小粒の平均粒厚とスリット幅から相対サイズ x/α を出し、 λ_i との関係を図示する。

(3) 結果

相対サイズ x/α と λ_i の関係は図5-15のようになった。供給材料量が50g と100g のいずれにおいても x/α が1.0 を通る直線となった。

表 5-6 実験の組み合わせ

小粒のサイズフラクション i スリット幅 α	c (1.2~1.4) mm	b (1.4~1.6)	a (1.6~1.8)	d (1.8~2.0)
2.0 mm	○	○	○	○
1.8	○	○	○	
1.6	○	○		
1.4	○			

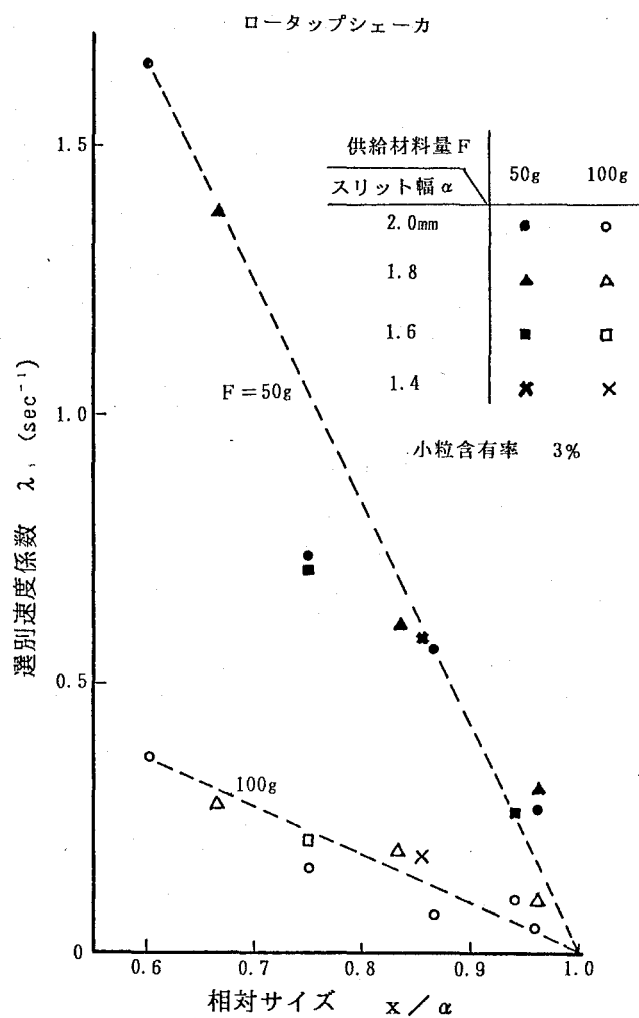


図5-15 相対サイズと選別速度係数の関係 (ロータップシェーカ)

第Ⅵ章 結 論

米選は、玄米中の未熟な小粒を取り除く操作であり、米の調製の重要な一過程である。近年、米は過剰となり関心が食味に移行しており、より一層米選作業が重視されてきている。米選機は、従来から縦線米選器が用いられてきたが、近年、回転米選機が開発され急速に普及した。さらに最近、縦型回転米選機が出現した。現在市販されている米選機には様々な種類がある。そこで米選機の選別性能に影響する因子を整理し、実験によってそれらの間の関係を明確にし、米選機の設計、改良のための基礎資料を得、適切な使用法を確立するために本研究を行った。

その結果、米選機のシリンダ回転数、傾斜角、材料供給量と選別精度の関係、さらに、シリンダ直径、攪拌棒、シリンダ断面形状、スクリーン面形態、スリット幅などの影響、横型と縦型の相違点が明らかになった。また、シリンダ内の材料の運動を把握することにより、選別機構を若干明らかにすることができた。以下、各章ごとにその内容を要約する。

第Ⅰ章 緒言

第1節では、本研究の目的を述べた。

第2節では、各種選別機を大きく3つ（網による選別、板による選別、その他の選別）に分け、本研究で取り上げた横型、縦型米選機の位置付けを明確にし、その分類に従って、第3節では文献の内容を概説した。

第Ⅱ章 横型回転米選機の選別因子と選別性能

第1節では、ふるい分け効率のいくつかについてその定義式を示した。つぎに、回転米選機の選別性能に影響する因子を、①シリンダの幾何学的因子、②シリンダの運

転に関する因子、③供給材料に関する因子、に分類した。

第2節では、シリンダ回転数、材料供給量、シリンダ傾斜角について検討した。実験には連続式および回分式選別装置を用いた。連続式選別装置では、上記因子を変えてふるい分け効率とシリンダ単位長さ当たりの滞留量を測定した。ふるい分け効率はシリンダ回転数の上昇に伴い上がるが、臨界回転数（材料が遠心力でスクリーンに圧着しはじめる回転数）付近で最大となり、その後下がる。さらに、ふるい分け効率は材料供給量が高くなると下がり、シリンダ傾斜角による影響は小さい。

材料の滞留量は臨界回転数付近で最小になり、材料供給量に比例する。滞留量と供給量から材料の移送速度がわかり、したがって、選別時間がわかる。一方、回分式選別装置によって小粒のサイズフラクションごとに選別速度係数（選別の容易さの尺度）を求めた。選別時間と選別速度係数からふるい分け効率が算出できる。また、選別に影響する因子は、①選別速度係数のみに影響するもの、②選別時間のみに影響するもの、③両方に影響するもの、に分けられる。①にはスリット形状、スリット幅、小粒粒径などが含まれ、これら因子の選別に及ぼす影響を検討するには、回分式選別装置による選別速度係数の測定のみで十分であることが明らかになった。

第3節では、シリンダ直径と攪拌棒の検討を行った。材料供給量が小さい時はシリンダ直径は小さい方が選別がよい。しかし、材料供給量の増大に対しては、大直径シリンダの方が選別の低下割合は小さい。シリンダ直径が増大すると同じ材料供給量に対して材料の滞留量が小さくなりその結果選別時間は短くなる。攪拌棒の条件は本数、太さ、スクリーンからの位置であり、回分式選別装置では、市販機より攪拌棒を太くし、本数を増した方が選別速度係数は大きくなった。しかし、それに伴って連続式選別装置では、材料の滞留量が大きくなるため選別の向上は少なかった。しかし、大直径シリンダにおいては、攪拌棒を多く、太くすると選別精度、能率ともにかかなり高くなることが明らかになった。各種シリンダの比較を容易にするため、回転数は臨界回転数で、シリンダ長は直径の4倍で、材料断面積はシリンダ断面積で無次元化した。

第4節では、シリンダ断面形状（円形、8角形）とスクリーン面形態（平面、波形）の影響を調べるために、A型（円形、平面）、B型（円形、波形）、C型（8角形、平面）、D型（8角形、波形）それにA-3型（A型に攪拌棒3本を付けたもの）のシリンダを供試し試験を行った。選別精度はB、D型が高く、ついで、C、A-3型で、A型は低い。C、D型とA-3型は $N^* = 1.1$ で選別精度が最高となり、A、B型は $N^* = 1.2$ で最高となった。すなわち、円形シリンダはほかのものより適正回転数が高い。滞留量は円形、8角形、攪拌棒付き円形の順に、スクリーン面形態ではスリットのない平板、スリットのある平面、波形の順にだんだん大きくなった。選別速度係数は円形より8角形が、平面より波形が高いことが明らかになった。

第5節では、スリット幅が大きくなると網上産物中の小粒含有率が急激に低下する。しかし、一方で上玄米が屑米となり損失がかなり多くなることがわかった。

つぎに、各条件と目づまりの関係を調べた。目づまり量は選別精度とほぼ同じ傾向を示した。スリット幅より小さいサイズフラクションでは時間の経過と共に目づまりは少なくなった。しかし、スリットより大きいものでは多くなった。

第Ⅲ章 縦型回転米選機

縦型回転米選機は、鉛直なシリンダとその中にあるらせん筒から成り、シリンダの下部に供給された材料はらせん筒によりかき上げられ、その過程で小粒はスクリーンで選別され、上玄米はシリンダ上部から回収される。

第1節では、縦型選別機の簡単な歴史と縦型米選機の特長にふれた。

第2、3節では、縦型米選機の選別性能に及ぼす各因子の影響について検討した。シリンダの影響を調べるために、シリンダがらせん筒に対して同方向（+）と逆方向（-）に回転できるようにした。選別性能は、シリンダ回転数が-100 ~ -75 rpmの時最高であり、-50、0、+50rpmとなるにつれて低下し、+100rpmでは全く選別は

行われない。シリンダは回転していなくてもある程度選別される。しかし、その時目づまり防止板が作用しないので、実際の選別作業には不適當である。らせん筒回転数はほぼ150rpm以上で選別作業が可能になり、回転数の上昇に伴い選別は良くなるが、300rpm以上でその上昇割合が低下する。縦型米選機では材料の供給を停止すると機内に残留米が残る。これは材料供給量が0の時の材料滞留量である。材料滞留量は材料供給量と式(3-4)の関係がある。

第IV章 シリンダ内の粒の運動

第1節では、シリンダ断面内の粒の運動を写真撮影、高速度撮影した。 N^* が小さい時は図4-2のように層状の運動をする。回転が高くなると材料は飛散を始め、さらに、高速では材料がシリンダ面に圧着する。角形シリンダでは、かどに入った材料をはね上げ、攪拌棒と同じような作用をする。A-3型では攪拌棒がスクリーンと一体であるため、棒が材料中に突入すると材料をスクリーンの速さに保つ。このようなスクリーンに対して、材料の滑り率を間欠的に0にする棒の作用が選別を良くしていると思われる。D型ではシリンダのかどに材料を保持するので滑り率は比較的小さい。回転数が低く滞留量が大い極めて特殊な条件で、小粒の偏析現象が確認された。しかし、実際の選別作業が行われる $N^* = 1.0$ では、材料の飛しょうのため偏析作用はほとんどなくなるとと思われる。回転中のスクリーンをシリンダの外側から放射方向に写真撮影した結果、B型スクリーンでは粒がスリット方向に整列されており、このために選別が良くなっていることがわかった。

縦型米選機ではスクリーンの一部にガラスをはめ込み、らせん筒、シリンダ共に回転している状態で、シリンダ内の材料の運動を写真撮影および高速度撮影した。 $N = -100\text{rpm}$ ではスクリーンとらせんの間のクリアランスを粒が漏下する状態が、また、 $N = +100\text{rpm}$ では粒がスクリーンに圧着している状態が確認された。

第2節では、部分分離効率曲線について検討した。長穴を有する米選機では分離粒

度は式(4-10)で表わされる。B型シリンダを使用し、その網下産物をスクリーン長の1/5ずつに分けて回収し、部分分離効率曲線を求めた。つぎに、分離粒度と選別長さの関係からスクリーン単位長さ当たりの試行数を求めた。結果はスリット幅にかかわらず30~35 m⁻¹であった。同一運転条件の時に、あるスリット幅でのあるサイズフラクションの選別速度係数が求まると、式(4-16)より、ほかのスリット幅でのほかのサイズフラクションの選別速度係数がすべて決まることが明らかになった。

第V章 各種選別方式の比較と総合考察

第1節では、直径および型式の異なるシリンダの選別特性を、同一ロットの材料で、しかも、同一条件で材料供給量のみを変えて調べた。スクリーン長がシリンダ直径の4倍の時の、サイズフラクションaのふるい分け効率 E_a と材料供給量の関係の図(図5-1(4))が、各種シリンダの選別特性を比較的よく表わした。

つぎに、選別精度と能率を共に向上させるために2段選別を考えた。まず、1段目はスリット幅2.0mmの大直径シリンダで能率を上げて粗選別する。つぎに、1段目の網下産物を、直接、2段目のスリット幅1.80mmの小直径シリンダに供給する。実験の結果、2段選別のふるい分け効率が1段選別を上まわったのは、Q=30、40kg/minで、2段目のシリンダ長が0.64、0.76mであった。

第2節では、横型および縦型米選機の網上産物の品質検査を、農林水産省食糧事務所に依頼し、その結果を示した。スリットによる米選機では、取り除けない未熟粒があることがわかった。

さらに、米選機のスリット幅を変えた時、農家手取り金額がどう変わるかを玄米、屑米の単価から試算した。

第3節では、縦型米選機の選別精度を横型と比較した。供試した縦型のスクリーン長は横型の約1/2であったが、選別精度はほぼ同じであった。すなわち、縦型米選機の選別能力は極めて高い。それは、材料の滞留量が横型では材料供給量に比例するの

に対し、縦型では式(3-4)となることによるもので、材料供給量が小さい時、選別時間が長くなり、材料供給量が大きい時でもそれほど滞留量は増大せず選別精度の低下が小さい。

第4節では、米選機の試験に用いたロータップシェーカーとテストグレーダの選別特性を明らかにした。

謝

辞

本研究の遂行ならびに取りまとめにあたり、終始懇切な御指導と御教示を賜った、京都大学農学部山下律也教授に深甚の謝意を表します。

また、本論文を御校閲いただき、御助言と御指摘を賜った、京都大学農学部田中 孝教授、同並河 清教授に深く感謝いたします。さらに、研究の基本的な考え方について御教示をいただき、終始励ましを賜りました、京都大学農学部川村 登名誉教授に衷心から感謝の意を表します。

本研究は、過去約10年にわたって行なった実験を取りまとめたものであり、直接御指導、御鞭撻をいただきました、山形大学農学部土屋功位名誉教授、および、その間御助言をいただきました、山形大学農学部上出順一教授に厚く感謝いたします。

㈱山本製作所の伊藤松義常務、同長岡純一部長、さらに、㈱タイガーカワシマの川島謙蔵常務からは、米選機を提供していただき、色々と御協力いただきました。山形大学農学部梅木幸子技官からは、資料の整理、その他で全面的に御協力いただき、同専攻学生の諸君には、積極的に実験に取り組んでいただきました。山形大学農学部農業工学科および同付属農場の教職員の皆様にも、御協力をいただきました。記してお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 安達真道, 橋本重雄, 若松正夫: 回転型米選機による屑米の除去性能, 山形農試研究報告, 第18号, 1984
- 2) 赤瀬 章, 土屋功位: 回転型米選機に関する研究—シリンダ直径の影響——農機学会東北支部報, No.22, 1975
- 3) 赤瀬 章, 土屋功位: 回転型米選機に関する研究—小粒分離および目づまり——, 農機学会東北支部報, No.25, 1978
- 4) 赤瀬 章, 土屋功位: 回転型米選機に関する研究(第1報)—選別性能とそれに影響する因子について——, 農機誌, 第42巻, 第2号, 1980
- 5) 赤瀬 章, 土屋功位: 回転米選機に関する研究(第2報)—シリンダ直径および攪拌棒の影響——, 農機誌, 第45巻, 第3号, 1983
- 6) 赤瀬 章, 土屋功位: テストグレーダ及びロータップシェーカの選別性能について, 農機学会東北支部報, No.30, 1983
- 7) 赤瀬 章, 土屋功位: 同上(第2報), 農機学会東北支部報, No.31, 1984
- 8) 赤瀬 章, 土屋功位: テーパ溝による粒厚選別の基礎試験, 農機学会東北支部報, No.32, 1985
- 9) 赤瀬 章, 土屋功位: 回転米選機に関する研究(第3報)—シリンダ断面形状とスクリーン面形態の影響——, 農機誌, (投稿中)
- 10) 赤瀬 章, 土屋功位: 縦型回転米選機による選別に関する研究(第1報), 農機誌, (投稿中)
- 11) 麻生欣次郎: トロンプ曲線に関する2, 3の考察, 選炭, Vol.7, No.31, 1957
- 12) Berlage, A. G. , Bilsland, D. M. , Brandenburg, N. R. and Cooper T. M. : Experimental Indent Cylinder for Separating Seeds, Trans. of the ASAE, 1984, p.358-361
- 13) 第2次庄内米3づくり運動本部: 第2次庄内米3づくり運動第2年次(昭和58年度)の実績, 1984
- 14) 第2次庄内米3づくり運動本部: 適期刈取り, 乾燥調製の手引き, 1984
- 15) Feller, R. and Foux, A. : Oscillating Screen Motion Effect on the Particle Passage Through Perforations, Trans. of the ASAE, 1975, p.926-930
- 16) Feller, R. and Foux, A. : Screening Duration and Size Distribution Effects on Sizing Efficiency, J. agric. Engng Res., 21, 1976, p.347-353
- 17) Feller, R. : Clogging Rate of Screens Affected by Particle Size, Trans. of the ASAE, 1977, p.758-761
- 18) Feller, R. : Screening Analysis Considering Both Passage and Clogging, Trans. of the ASAE, 1980, p.1054-1056

- 19) Feller, R. , Mizrach, A. , Zaltzman, A. and Schmilovitch, Z. : Gravity Separation Over a Mesh Belt Conveyor, J. agric. Engng Res. , 26, 1981
- 20) Feller, R. , Zacharin, A. , Artsy, R. and Stein, Y. : Grading Peanuts by the Location of the Center of Gravity, Trans. of the ASAE, 1985, p. 251-254
- 21) Fowler, R. T. and Lim , S. C. : The influence of various factors upon the effectiveness of separation of a finely divided solid by a vibrating screen, Chemical Engineering Science, Vol. 10, 1959
- 22) 粉粒体供給装置委員会：粉粒体の貯槽と供給装置，日刊工業新聞社，昭和38年
- 23) 後藤清和，山下律也，グエンハオ，森戸隆男：形状選別のメカニズムに関する研究（第3報）——シックネスグレーダの解析と選別基準——，農機誌，第42巻 第4号，1981
- 24) 八田四郎次：化学工学概論，共立出版，昭和23年
- 25) 林 俊孝，笹野睦雄，津々見雄文，川北公夫，池田千尋：粉粒体のタッピングによる流動と偏析，材料，第19巻 第20号，昭和45年
- 26) ヘンダーソン，ペリー：農業プロセス工学，東大出版，1972
- 27) 星川清親：米の胚乳組織の構造とその発達，生物科学，第23巻 第2号，1972
- 28) 池田千尋，津々見雄文，川北公夫：粉粒体の振動による偏析現象，材料，第19巻 第201号，昭和45年
- 29) 今泉常正：トロンプ配分率曲線の分級およびフルイ分けへの応用，選炭，Vol. 7, No. 31, 1957
- 30) 今泉常正：選炭教室 フルイ分け（その1），選炭，No. 29
- 31) 岩尾俊男，田辺 一：流動層における粒子の物理特性がふるい分けにおよぼす影響，農機誌，第35巻 第2号，1973
- 32) 岩尾俊男：穀粒用の選別機，農機誌，第40巻 第4号，1979
- 33) 岩尾俊男：「長さと厚さによる選別の基準」についての提案，農機誌，第46巻 第3号，1984, P316
- 34) 上出順一：揺動万石の選別過程及び粃と玄米の分離特性，山形大学紀要（農学），第10巻 第1号，昭和61年
- 35) 川村 登，山下律也，赤瀬 章：コーン型スレッシャの研究（第1報），農機誌，第28巻 第4号，1967
- 36) 川村 登編：農産機械学，文永堂，昭和55年
- 37) 木下俊郎編：イネ穀粒特性の多様化に関する育種学的基礎研究，昭和55～57年度文部省科学研究費総合研究Aによる研究成果報告書，昭和58年
- 38) 北山政幸，桃野 寛，竹中秀行：縦軸回転型粗選機の性能，農機学会北海道支部報，27, 1986
- 39) 児島初男，山下律也：揺動選別機の選別特性（I）——揺動板諸元の検討——

- 農機誌, 第46巻 第 2号, 1984
- 40) Kramers, H. and Croockewit, P. : The passage of granular solids through inclined rotary kilns, Chem. Eng. Sci., Vol. 1, No. 6, 1952
 - 41) Long, J. D. , Hamdy, M. Y. and Johnson, W. H. : Centrifugal Force and Wheat Separation, Agricultural Engineering, 1969, p. 578-580
 - 42) 又木義博, 藤沢 茂 : 木質粉粒体層の振動による解析, 材料, 第24巻 第264号, 昭和50年
 - 43) 三輪茂雄 : ふるい分けに関する研究, ケミカルエンジニアリング, 1956. 9
 - 44) 三輪茂雄 : ふるい分け成績の新しい表示法, 化学工学, 第24巻 第 3号, 1960
 - 45) 三輪茂雄 : フルイわけによる粒度測定値の物理的意味, 材料, 第13巻 第133号, 昭和39年
 - 46) 三輪茂雄 : 粉体のフルイ分け, 日刊工業新聞社, 1965
 - 47) 三輪茂雄 : ふるい分け読本, 産業技術センター, 昭和49年
 - 48) 三輪茂雄 : 粉体工学通論, 日刊工業新聞社, 昭和56年
 - 49) 三好保男 : 米選機の選別理論に関する研究 (第1報), 農機誌, 第13巻 第3, 4号, 1952
 - 50) 三好保男 : 同 上 (第2報), 農機誌, 第15巻 第 1号, 1953
 - 51) Moller, F. : Determination of Particle Length in Cobs and Wafers, Trans. of the ASAE, 1975, p. 950-951
 - 52) 桃野 寛, 藤田昭三, 小島由光 : 豆粒の石拔機に関する研究, 農機学会北海道支部報 27, 1986
 - 53) Morgan, A. H. and Constantin, M. J. : A Laboratory Seed Separator-Grader, Trans. of the ASAE, 1976, p. 461-462
 - 54) 森 芳郎, 吉田文武 : 詳論化学工学単位操作 I, 朝倉書店, 昭和37年
 - 55) 中川健治, 堀部和雄, 大下誠一 : 回転型米選機に関する研究——シリンダ内における穀粒の運動解析——, 第38会農機学会講演要旨, 1979
 - 56) 中川健治, 堀部和雄, 大下誠一 : 同 上 ——シリンダ内における穀粒の挙動について ——, 第39会農機学会講演要旨, 1980
 - 57) 中川健治, 堀部和雄, 大下誠一 : 米選機に関する研究 (IV) —回転米選機内における穀粒の運動—, 三重大学農学部学術報告, 第73号, 昭和61年
 - 58) 新潟農試 : 動力米選機, 穀物含水率計・米選機, 昭和49年
 - 59) 農機学会 : 農業機械施設試験方法便覧 I, 昭和52年
 - 60) 農機学会 : 日本農業機械・器具図譜, 昭和54年
 - 61) 農機学会 (農産機械部会) : 穀類の基礎的物性と選別, 昭和59年
 - 62) 農産物性研究グループ : 農産物性研究 (第2集), 農産物の物性及び測定法に関する総合的研究, 昭和60年
 - 63) 大山義年 : 水平回転円筒内の粒体の運動 (第1報), 粉体工学会誌, Vol. 15, No. 2, 1978

- 64) Park, J. K. and Harmond, J. E. : A Vertical Rotating Screen Separator, Agricultural Engineering, 1967. 5
- 65) Park, J. K. : Vertical Rotating Screens for Separating Seeds from Trashy Materials, Trans. of the ASAE, 1974, p. 606-610
- 66) 坂下 摂 : 入門粉体トラブル工学 実践的粉粒体プロセス設計, 工業調査会 1985
- 67) 佐納良樹, 光田健治, 茂木賢治郎, 寺田栄一 : タッピングによる粉粒体の充填および分離, 材料, 第17巻 第 177号, 昭和43年
- 68) 佐納良樹, 宮田清巳, 勝俣春美 : タッピングによる二成分球形粒子の分離限界条件, 材料, 第19巻 第 203号, 昭和45年
- 69) Schertz, C. E. and Hazen, T. E. : Predicting Motion of Granular Material on an Oscillating Conveyor, Trans. of the ASAE, 1963, p. 6-10
- 70) 食糧庁 : 農産物検査関係通達集, 昭和60年 7月
- 71) Smith, H. P. : Farm Machinery and Equipment, 1948
- 72) Srivastava, A. K. , Hamdy, M. Y. , Nelson, G. L. Roller, W. L. and Huber, S. G. : Centrifugal Grain-Straw Separation: Part I Theoretical Analysis, Trans. of the ASAE, 1974, p. 198-200
- 73) Srivastava, A. K. , Nelson, G. L. , Roller, W. L. Hamdy, M. Y. and Huber, S. G. : Centrifugal Grain-Straw Separation: Part II - Experimental Investigation, Trans. of the ASAE, 1974, p. 202-204
- 74) Sucher, R. W. and Pfost, H. B. : Cylindrical Grader Performance in Relation to Corn Cleaning Problems, Trans. of the ASAE, 1964, p. 300-306
- 75) 杉本益規, 遠藤一夫, 田中達夫 : 流通式回転円筒内の粒子の挙動——二成分粒子混合物の分離と排出速度の変動——, 化学工学, 第30巻 第 5号, 1966
- 76) 杉本益規 : 流通式水平回転円筒内の粒子滞留時間分布の一推算, 化学工学, 第32巻 第 3号, 1968
- 77) 庄司英信 : 穀粒体の斜面流動に関する実験的研究, 農機誌, 第11巻 第 4号 1950
- 78) 竹尾忠一 : 連続式茶葉蒸機内における茶葉の通過時間分布の解析, 農機誌, 第35巻 第 3号, 1974
- 79) 田中 勉監修 : 米穀の流通と管理——日本の米・世界の米——, 地球社, 昭和60年
- 80) 富山農試 : 回転型穀粒選別機性能調査, 昭和48年度農業機械試験研究成績 昭和49年
- 81) 富山農試 : 回転型穀粒選別機性能試験, 昭和52年度農業機械試験研究成績書 昭和53年
- 82) 富山農試 : 回転型穀粒選別機性能試験, 昭和56年度農業機械試験研究成績書 昭和57年
- 83) 富山農試 : 回転型穀粒選別機の性能試験, 昭和59年度農業機械試験研究成績

- 書, 昭和60年
- 84) 梅田重夫, 赤瀬 章: 振動選別法に関する研究, 農機学会関西支部報, 第22号, 昭和40年
 - 85) Vahl, L. and Kingma, W. G. : Transport of solids through horizontal rotary cylinders, Chem. Eng. Sci., Vol. 1 No. 6, 1952
 - 86) 山下律也, 吉富 均, 後藤清和, グエンハオ: 形状選別のメカニズムに関する研究 (第1報) ——インデントシリンダ型の解析——, 農機誌, 第41巻第3号, 1980
 - 87) 山下律也: もみすり用選別機のみなおし, 農機春秋, 1982. 7
 - 88) 山下律也: 米穀の調製加工、貯蔵法と品質、農機誌, 第46巻、第2号、1984
 - 89) 山下律也: 米の調製加工技術の展開, 農学の未来像を求めて, 四明会設立準備会, 第2号, 昭和60年
 - 90) 鍾水惣一, 橋本重雄, 浅野功三: 回転型米選機の特性に関する研究, 東北農業研究, 第15号, 1974
 - 91) 横川文夫: 精米加工から見た59年産米の品質, 米麦改良, 1985. 5